

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Konfigurace anténního systému základnových stanic mobilní
rádiové sítě 4. generace**

**Configuration of Base Station Antenna System in 4th Generation
of Mobile Radio Network**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Grygar**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Konfigurace anténního systému základnových stanic mobilní rádiové sítě 4. generace**
Configuration of Base Station Antenna System in 4th Generation of Mobile Radio Network.

Zásady pro vypracování:

1. Zmapujte problematiku výstavby základnových stanic pro mobilní rádiové sítě 2., 3. a 4. generace s ohledem na hygienické limity.
2. Proveďte simulaci vlivu anténního systému na bezprostřední okolí základnové stanice v závislosti na frekvenčních pásmech.
3. Za základě výsledků v bodě 2) navrhnete a optimalizujete konfiguraci anténního systému základnové stanice mobilní rádiové sítě 4. generace.

Seznam doporučené odborné literatury:

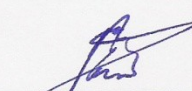
TOLSTRUP, Morten. Indoor radio planning: a practical guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE. 2nd ed. Chichester, U.K.: Wiley, 2011, xxii, 458 p. ISBN 978-0470710708.

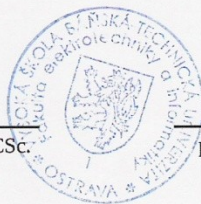
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

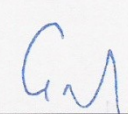
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Michalek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry

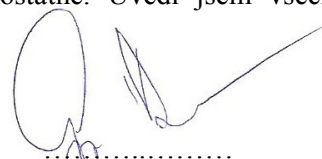



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 30. 04. 2013



.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Liboru Michálkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Rovněž bych rád poděkoval své manželce Kamile a dětem za podporu a vytvoření atmosféry pro psaní této bakalářské práce.

Abstrakt

Obsahem práce je popis nejčastějších možných konfigurací anténního systému základnových stanic mobilních operátorů v České Republice pro sítě 2. generace (GSM), 3. generace (UMTS, CDMA2000) a 4. generace (LTE). Práce popisuje anténní konfigurace na střechách obytných budov a jejich vliv na pobyt a pohyb osob v bezprostřední blízkosti antén v souvislosti s platnou legislativou zejména z hlediska expozice neionizujícímu záření. Jsou zde definovány konfigurace anténního systému základnových stanic v případě umístění základnové stanice jednotlivých operátorů na střeše tak i případy sdílení střech budov více operátory.

Klíčová slova

BTS, GSM, UMTS, LTE, EMP, výpočet EMP, anténní systém

Abstract

This document describes the most common configurations of the antenna system base stations of mobile operators in the Czech Republic for the second network generation (GSM), third generation (UMTS, CDMA2000) and fourth generation (LTE). This work describes the antenna configuration on the roofs of residential buildings and their impact on the stay and movement of persons in the neighborhood of antennas in connection with the valid legislation, especially in terms of exposure to non-ionizing radiation. They are defined configuration of base station antenna system for location of the base station of individual operators on the roof and sharing, where multiple operators roofs of buildings.

Key words

BTS, GSM, UMTS, LTE, electromagnetic field, calculation of electromagnetic field, antenna system

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
E	V / m	referenční úroveň intenzity elektrického pole
ERP	dBm	efektivní vyzáření výkon
f	MHz	frekvence
G	dBi	zisk antény
L	m	délka
P	W	výkon
S	W / m ²	hustota zářivého toku
SAR	W / Kg	měrný absorbovaný výkon v tkáni těla
úhel	°	stupně

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
ČR		Česká republika
ČTÚ		Český telekomunikační úřad
EMP		elektromagnetické pole
MHz		megahertz
NV		Nařízení vlády
tzv.		tak zvaný
BSC	base station controller	koncentrátor základnových stanic
BTS	Base station	základnová stanice
CDMA	Code division multiple access	Kódový multiplex
DCS	Digital cellular service	Digitální buňkový systém
E-GSM	extended GSM	rozšířené GSM
EIRP	equivalent isotropically radiated power	ekvivalentní izotropně vyzářený výkon
ERP	Effective radiated power	efektivní vyzářený výkon
EV-DO	Enhanced Voice-Data Optimized	vylepšení hlasu - optimalizace dat
FDM	frequency division multiplex	frekvenčně dělený multiplex
GSM	Global System for Mobile Communications	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
LTE	Long Term Evolution	síť 4. generace LTE
RNC	radio network controller	koncentrátor rádiové sítě
RRU	radio remote unit	vzdálená vysílací jednotka
TDM	time division multiplex	časově dělený multiplex
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Univerzální mobilní telekomunikační systém

Seznam použitých termínů

Termín	Význam termínu
2G	druhá generace mobilní telefonní technologie představovaná systémy GSM a DCS. Převážně pro přenos hlasu a v omezené rychlosti i dat.
3G	třetí generace mobilní telefonní technologie představovaná převážně systémem UMTS a CDMA. Vyvinuto prioritně pro přenos dat.
4G	čtvrtá generace mobilní telefonní technologie pro vysokorychlostní přenos dat označovaná jako LTE
azimut	orientovaný úhel, který svírá určitý směr od směru severního udávaný ve stupních
BTS city site	základnová stanice mobilní telefonní sítě instalovaná typicky v městské zástavbě
BTS country site	základnová stanice mobilní telefonní sítě instalovaná typicky v otevřené krajině
BTS indoor site	základnová stanice mobilní telefonní sítě instalovaná uvnitř budov
BTS mikrocell	základnová stanice mobilní telefonní sítě určena pro pokrytí velmi malých prostorů signálem sítě
BTS umbrella	základnová stanice mobilní telefonní sítě určena pro pokrytí velmi velmi rozlehlého území signálem sítě
buňka	část území pokrytá jedním vysílacím segmentem (kanálem, kódem) mobilní telefonní technologie
frekvence	fyzikální veličina, která udává počet opakování periodického děje za daný časový úsek
NodeB	technologické zařízení rádiové části mobilní telefonní sítě třetí generace 3G-UMTS
eNodeB	technologické zařízení rádiové části mobilní telefonní sítě čtvrté generace 4G-LTE
základnová stanice	technologické zařízení zajišťující spojení infrastruktury mobilní telefonní technologie s mobilními stanicemi (telefony) přes rádiové rozhraní

Obsah

1	Úvod	1
2	Frekvenční pásma využívané mobilními operátory v ČR	2
2.1	Frekvenční pásma	2
2.1.1	2G – pásmo GSM 900MHz	2
2.1.2	2G – pásmo DCS 1800MHz	2
2.1.3	3G – pásmo CDMA 450MHz	2
2.1.4	3G – pásmo UMTS 2100MHz	2
2.1.5	4G – pásma LTE 800, 1800 a 2600MHz	3
2.2	Typy základnových stanic podle pokrytí zájmového území	3
2.2.1	Umbrella	3
2.2.2	Country site	4
2.2.3	City site	6
2.2.4	Indoor site	6
2.2.5	pikocell	7
3	Výstavba sítí mobilních operátorů	8
3.1	Plánování sítě	8
3.1.1	Výběr území pro pokrytí signálem	8
3.1.2	Volba frekvenčního pásma a služby	8
3.1.3	Výběr vhodného místa pro instalaci BTS	9
3.2	Legislativa výstavby základnových stanic	10
3.2.1	Smluvní vztahy s majiteli	10
3.2.2	Stavební řízení	10
3.2.3	Památkové zóny, chráněné krajinné oblasti	10
3.2.4	Povolení institucí	12
3.2.5	Projektová dokumentace	12
3.2.6	Hygienické předpisy	12
4	Simulace vlivu anténního systému na okolí BTS	13
4.1	Legislativa – Zákon č.258/2000Sb., NV č.480/2000 Sb., vyhláška 1/2008 Sb.	13
4.2	Výpočet vlivu EMP (elektromagnetického pole) – teorie	15
4.2.1	Parametry běžně používaných antén	15
4.2.2	Parametry a vysílací výkony technologií BTS, NodeB a eNodeB	15
4.2.3	Popis výpočtu EMP	17
4.3	Výpočet EMP a ochranné zóny kolem antén	21

4.3.1	Výpočet EMP pro jednu buňku a srovnání vlivu jednotlivých frekvencí.....	21
4.3.2	Výpočet EMP pro jednu buňku s kombinací frekvencí.....	22
4.3.3	Výpočet EMP pro tři buňky (typická konfigurace) a srovnání vlivu jednotlivých frekvencí.....	24
4.3.4	Výpočet EMP pro tři buňky s kombinací frekvencí	25
4.3.5	Výpočet EMP pro případ sdílení střechy jedné budovy dvěma, popř. třemi mobilními operátory	27
4.3.6	Shrnutí - porovnání ochranných zón stávajících základnových stanic a s přidáním 4G-LTE.....	31
5	Konfigurace a optimalizace anténního systému v závislosti na vlivu EMP.....	33
5.1	Umísťování antén 2G + 3G , příklady	33
5.1.1	Ploché střechy, panelové domy	33
5.1.2	Výtahové strojovny, panelové domy	33
5.1.3	Sedlové střechy.....	34
5.1.4	Výškové objekty	34
5.2	Přidávání antén 4G (LTE) k BTS 2G a 3G	35
5.2.1	Ploché střechy, panelové domy	35
5.2.2	Výtahové strojovny, panelové domy	37
5.2.3	Sedlové střechy.....	38
5.2.4	Výškové objekty	38
6	Závěr.....	39
	Použitá literatura	41
	Seznam příloh.....	I

1 Úvod

V současné době dochází nejen v České Republice k rozvoji sítí mobilních operátorů obecně nazývaných jako sítě čtvrté generace. Pro tyto sítě je obecně ustálen termín LTE – Long Time Evolution. Instalace přístupové sítě této technologie probíhá a bude probíhat téměř výhradně na stejných místech, kde nyní mobilní operátoři provozují zařízení sítí 2G a 3G. Přidání nového zařízení, šířícího signál sítí 4G prostřednictvím nového anténního systému, přinese zvýšené nároky na dodržování hygienických limitů v okolí vysílacího zařízení. Zejména dojde ke zvýšenému vlivu elektromagnetického pole, jehož intenzitu a vliv na obyvatelstvo ošetřují vyhlášky a zákony. Tyto vlivy je potřeba sledovat a vyžádá-li to situace, je nutno s nimi počítat už při plánování instalací nových technologií.

V této práci je zmapován proces výstavby základnové stanice mobilní sítě. Je zde popsán aktuální stav platné legislativy, která stanovuje mj. hygienické podmínky zřízení základnové stanice. Jsou zde provedeny simulace vlivu anténních systémů na bezprostřední okolí základnových stanic pro různé kombinace antén stávajících sítí 2G a 3G a simulace rozšíření těchto systémů o anténní systémy 4G. Po vyhodnocení simulací jsou navrženy řešení úprav stávajících konfigurací anténních systémů pro možnost přidání antén sítí 4G tak, aby i tyto konfigurace odpovídaly legislativním předpisům a limitům.

2 Frekvenční pásma využívané mobilními operátory v ČR

Rozdělení rádiového spektra v České Republice je detailně rozepsáno v [1] a [2].

2.1 Frekvenční pásma

2.1.1 2G – pásmo GSM 900MHz

Síť 2G pracuje na třech rádiových frekvencích. V ČR a obecně v Evropě, na frekvencích 900MHz a 1800MHz. V Severní Americe je využíváno pásmo 1900MHz.

Frekvenční pásmo 900MHz využívá standardně šířku pásma 25MHz pro uplink (890-915 MHz) a s odstupem 45MHz pásmo o šířce 25MHz pro downlink (935-960 MHz). V těchto pásmech je k dispozici 125 dvojic rádiových kanálů šířky 200kHz. Pro potřeby hovorů je k dispozici 124 kanálů, zbývajících kanál je oddělovací. Kapacitním rozšířením GSM pásma jsou kanály v pásmu E-GSM (extended GSM) obsahující pásma 880-890 MHz pro uplink a 925-935 MHz pro downlink. E-GSM rozšiřuje počet kanálů o 50 na celkový počet 174.

2.1.2 2G – pásmo DCS 1800MHz

Síť 2G v pásmu 1800 MHz se obecně nazývá DCS 1800 - Digital Cellular Service.

Je zde využito frekvenční pásmo 1710-1785 MHz pro uplink a 1805-1880 pro downlink. Vzájemný odstup je 95 MHz. V těchto pásmech je k dispozici 375 dvojic rádiových kanálů šířky 200kHz. Pro potřeby hovorů je k dispozici 374 kanálů, zbývajících kanál je oddělovací. V ČR nejsou pro DCS všechny kanály mezi operátory přiděleny.

2.1.3 3G – pásmo CDMA 450MHz

Toto frekvenční spektrum je v ČR využíváno pro šíření datových služeb v systému CDMA 1xEV-DO revize A operátory Telefónica Czech Republic, a.s. a Mobilkom a.s.

Pro uplink je využito pásmo 451,31-455,73 MHz (Telefónica) a 410,2-413 MHz (Mobilkom).

Pro downlink je využito pásmo 461,31-465,73 MHz (Telefónica) a 420,2-423 MHz (Mobilkom).

2.1.4 3G – pásmo UMTS 2100MHz

V ČR je frekvenční pásmo UMTS v okolí 2100MHz rozděleno mezi tři standardy UMTS FDM, UMTS TDM a UMTS Satellite. V současné době je využíván operátory pouze standard FDM. Pro tento standard je k dispozici šířka pásma 60MHz pro uplink (1920-1980MHz) a 60MHz pro

downlink (2110-2170MHz). V párovém spektru je k dispozici celkem 12 párů nosných frekvencí o šířce pásma 5MHz rovnoměrně rozdělených mezi tři operátory.

2.1.5 4G – pásma LTE 800, 1800 a 2600MHz

V ČR jsou k dispozici pro síť LTE tři frekvenční pásma.

V pásmu 800 MHz jsou k dispozici dva bloky frekvencí po 30MHz (791MHz-821MHz a 832MHz-862MHz). V pásmu 1800 MHz dva nové bloky po 24,9 MHz, které po sloučení s pásmy doposud využívanými pro DCS 1800 vytvoří souvislou dvojici frekvenčních pásem 2x 75MHz. V pásmu 2600 MHz dva bloky po 70MHz a jeden po 50MHz. Přesné rozdělení frekvenčních pásem mezi jednotlivé operátory není v době tvorby této práce známo, protože je předmětem řízení Českého Telekomunikačního Úřadu [13].

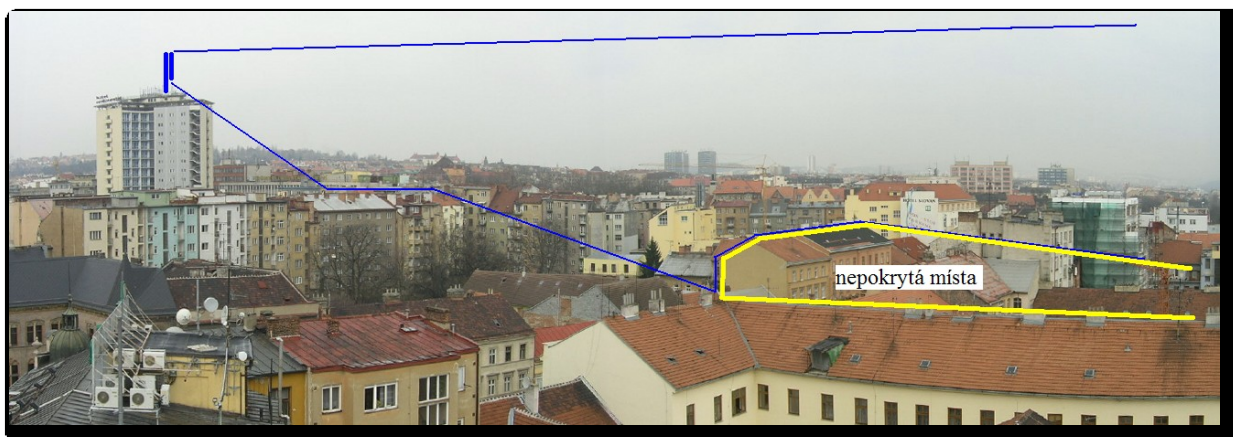
2.2 Typy základnových stanic podle pokrytí zájmového území

2.2.1 Umbrella

Základnová stanice typu *umbrella* zajišťuje pokrytí velkého území z jednoho dominantního místa v terénu. Pokrytí z tohoto místa dosahuje vzdálenosti několika kilometrů. Toto je zajištěno jednak výškovým umístěním antén, počtem sektorů základnové stanice a také vyzařovacím výkonem. Přesto se běžně stává, že v dosahu pokrytí z této základnové stanice se nachází místa s nedostatečnou úrovní signálu, jak je znázorněno na obrázku 2.1. Může to být způsobeno rádiovým stínem za terénním vyvýšením nebo umělou překážkou, ale taky konstrukcí budov umístěných v místě teoretického pokrytí. Dokrývání těchto míst je řešeno prostřednictvím základnových stanic typu *indoor site*, *mikrocell* nebo *pikocell*.

Pro stavby typu *umbrella* se využívají přirozené vysoké body v reliéfu krajiny, kopce, na nichž se budují samostatně stojící stožáry pro anténní systémy, ukázky tohoto řešení jsou na obrázku 2.2. Jinou variantou je využití výškové stavby, která je v okolí dominantní. Často se využívá továrních komínů nebo samostatně stojících výškových budov.

Výstavba základnových stanic typu *umbrella* je pro operátory výhodná hlavně v případě výstavby nové sítě, kdy je zájem pokrýt co největší území co nejrychleji a ekonomicky nejvýhodněji. Kapacita těchto základnových stanic je však omezená a proto s nárůstem provozu počtu zákazníků dochází ke kapacitnímu doplňování dalších základnových stanic i v místech pokrytí z této dominantní stanice.



Obrázek 2.1: Pokrytí z BTS typu umbrella



Obrázek 2.2: Ukázky BTS typu umbrella

2.2.2 Country site

Základnová stanice tohoto typu je budována za účelem pokrytí venkovské oblasti, tedy pokrytí vesnic, turisticky exponovaných míst a dopravních tahů. I zde je využíváno vysokých bodů v reliéfu krajiny nebo dominantních staveb v okolí. Účelem těchto staveb však není prioritně pokrytí velkého území, ale směřování antén je navrhováno tak, aby pokryly signálem konkrétní obec či trasu dopravní cesty. Plánování zde je zaměřeno na kompletní pokrytí daného území tak, aby se ideálně nemuselo dokrývat dalšími základnovými stanicemi typu *indoor*, *mikrocell* či *pikocell*.

Pro operátory je volba místa pro takový typ základnové stanice velmi důležitý. Obvykle je voleno místo, ze kterého lze ideálně pokrýt celou větší obec či dokonce v případě kopcovitého terénu pokrytí více obcí z jednoho místa. Typické řešení stanice typu country site je zobrazeno na obrázku 2.3. Kromě samostatně stojících stožárů se využívají např. sila nebo kostelní věže, jak je patrné z obrázku 2.4.



Obrázek 2.3: Ukázky BTS typu country site - stožáry



Obrázek 2.4: Ukázka BTS typu country site - kostel

2.2.3 City site

Základnová stanice typu *city site* je budována pro pokrytí menšího území s ohledem na spolupráci s okolními buňkami sítě a zajištěním dostatečné kapacity sítě. Pokrytí z této základnové stanice nedosahuje zpravidla více než řádově stovky metrů. Podobně jako u *country sites* je i zde plánování zaměřeno na kompletní pokrytí daného území tak, aby se ideálně nemuselo dokrývat dalšími stanicemi typu *indoor*, *mikrocell* či *pikocell*. Oproti *country site* se však v tomto případě pokrývají jen ulice nebo několik bloků domů zástavby.

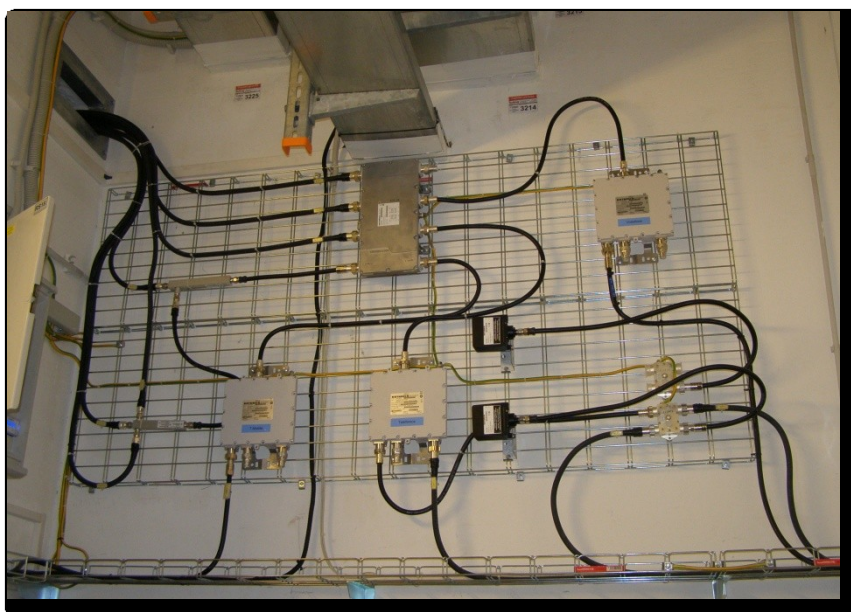
Realizace těchto základnových stanic je vesměs na střechách budov, např. viz obrázek 2.5, nebo průmyslových hal. Zřídka se využívají i komíny či sloupy elektrického vedení vysokého napětí. Při volbě místa pro realizaci tohoto typu základnové stanice nehraje největší roli výška objektu, ale jeho umístění v okolní zástavbě města či obce.



Obrázek 2.5: Ukázka BTS typu *city site*

2.2.4 Indoor site

Tento typ základnových stanic se využívá téměř výhradně pro dokrytí vnitřních prostor budov, které jsou konstruovány z materiálů omezující proniknutí signálu z okolních stanic. Nejběžnějšími případy jsou průmyslové haly, obchodní centra, administrativní budovy nebo silniční tunely či metro. Z hlediska realizace bývají tyto stavby nejnáročnější technicky ale i finančně. Není výjimkou, že se na stavbě takových stanic podílí více operátorů společně. Anténní rozvod je realizován systémem slučovačů a rozbočovačů signálů. Ukázka rozvodu je na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Ukázka rozvodu BTS typu indoor site

2.2.5 pikocell

Stejně jako u *indoor sites* i zde se jedná výhradně o dokrývání vnitřků budov. V případě *pikocell* se jedná o mnohem méně náročnou instalaci, kdy se dokrývají maximálně desítky metrů čtverečních vnitřní plochy prostřednictvím kompaktního zařízení tzv. *nanoBTS* či *pikoBTS*. Jejich výkon je uzpůsoben normám pro použití ve vnitřních prostorech, a proto nelze očekávat velké pokrytí. Ukázka instalace je na obrázku 2.7, kde je viditelný bílý ovál zařízení nanoBTS instalované na dřevěném stropě.



Obrázek 2.7: Ukázka BTS typu pikocell

3 Výstavba sítí mobilních operátorů

3.1 Plánování sítě

3.1.1 Výběr území pro pokrytí signálem

Pro provozovatele sítě může být motivů pro naplánování a výstavbu nové BTS několik.

V případě výstavby nově budované sítě, je prioritní dosažení co možná největšího pokrytí za co nejkratší čas. V tom případě se operátor zaměřuje především na brzké pokrytí měst a hustě obydlených oblastí a dopravních tahů, jejichž pokrytí marketingově využije při spouštění sítě do komerčního provozu. Provozem z těchto sítí se rychleji vracejí vynaložené investice než pokrytím méně obydlených oblastí. V této fázi výstavby převažují BTS typu *city site* a *country site*. Podle strategie operátora se mohou vyskytovat i BTS typu *umbrella*, u kterých však do budoucna musí počítat s jejich kapacitním přetížením a postupnou náhradou za BTS s menším dosahem.

Dalším motivem je pokrytí méně obydlených oblastí, které však mohou být klíčové pro celkovou spokojenost koncových zákazníků s operátorem. Pro tyto oblasti převažují BTS typu *umbrella* a *country site*.

Podstatným motivem pro výstavby nových BTS je hlavně pro zavedené operátory výstavba buněk pro konkrétní zákazníky. Mohou to být BTS pro firemní klientelu a to typu *pikocell*, *indoor site* nebo v případě průmyslových či obchodních areálů i *city site*.

Dalším zájmovým místem pro pokrytí signálem jsou pro operátory místa s velkou koncentrací potenciálně telefonujících osob při časově omezených akcích (výstavy, sportovní utkání, festivaly...). V takových případech je výstavba standardní BTS většinou ekonomicky nenávratná a operátoři volí instalaci dočasných, tzv. *mobilních buněk*, které po ukončení akce zdemontují a odvezou pro další použití na jiném místě.

3.1.2 Volba frekvenčního pásma a služby

Operátoři nejen v ČR disponují zpravidla několika frekvenčními pásmy a prvním krokem při plánování sítě je právě volba frekvenčního pásma. V případě plánování služby sítě 2G (GSM) je preferováno pásmo 900MHz, které se lépe šíří terénem a vnitřky budov. Vyšší pásmo 1800MHz slouží převážně ke kapacitnímu doplňování sítě a k zahušťování buňkového systému. Výstavba nové sítě pouze v pásmu 1800MHz znamená vyšší počet BTS v oblasti. Tento model si v ČR v r. 2000 vyzkoušel při budování sítě mobilní s názvem Oskar operátor Český Mobil (dnes Vodafone), kterému byla licence ze strany ČTÚ přidělena zpočátku jen v pásmu 1800MHz.

Velmi podstatným kritériem při plánování sítě v současné době je i zpřístupnění datových přenosů koncovým zákazníkům. Při plánování sítě operátor volí i možnost přístupu uživatelů k datovým přenosům prostřednictvím sítě GSM (EDGE) nebo sítě 3G (UMTS FDD, TDD) popř. sítě 4G (LTE). Ideální by samozřejmě bylo pokrytí co největšího území (nižším frekvenčním pásmem) službou s rychlejším přenosovým výkonem 3G popř. 4G. V případě 3G v pásmu 2100MHz je však dosah služby na menším území než u 2G. Velký zájem mají operátoři o získání licencí na frekvenční

pásmo 800MHz, kde by se provozovala síť 4G, protože tato technologie LTE na této frekvenci přinese kombinaci rychlých datových přenosů a dobře šířitelného frekvenčního pásma.

3.1.3 Výběr vhodného místa pro instalaci BTS

Při výběru vhodného místa pro instalaci BTS je podle zájmové oblasti pro pokrytí nalezeno výškově a prostorově ideální místo nejdříve teoreticky z mapových podkladů. Po vytipování ideálního místa je propočítáváno teoretické pokrytí z daného místa pomocí softwarových nástrojů obsahující mapové a terénní podklady. Pokud teoretický výpočet odpovídá požadavkům pro plánované pokrytí, probíhá prohlídka vytipovaného místa přímo v terénu, kde se kromě praktického ověření vhodnosti volby místa prověřují i další podněty, které mohou výstavbu BTS v daném místě výrazně ovlivnit. Jedná se především o vzdálenost od distribuční energetické sítě, možnosti datového připojení na přístupovou optickou či MW síť operátora, přístupnost místa pro samotnou výstavbu BTS a její budoucí obslužnost, rizika plynoucí z naplánování výstavby BTS v památkové zóně nebo ekologicky významné lokalitě, bezpečnostní situace v lokalitě, dohoda s vlastníkem nemovitosti, na níž je BTS plánovaná apod.

Plánování místa je rozdílné podle jednotlivých typů BTS:

Umbrella - vyhledává se dominantní místo v terénu. Může to být výškový bod přírodního charakteru, což jsou kopce a vrcholy hor. Nemusí se však vždy jednat o nejvyšší terénní bod v okolí. Mnohdy je výhodnější třeba i nižší terénní místo, které je však vzdálenostně blíže k obydleným oblastem v údolích. Přestože jde o dominantní terénní bod, vysílač BTS je vesměs instalován na anténním stožáru výšky 20 až 50m z důvodu umístění antén až nad vrcholy okolních lesních porostů. Druhou hojně využívanou možností pro instalaci BTS typu umbrella je využití stávajícího umělého dominantního objektu v terénu, což je výhodnější z ekonomického a mnohdy i estetického a ekologického hlediska. Tímto objektem může být samostatně stojící tovární komín, výšková budova např. síla, církevní stavby, ale v ojedinělých případech i stožáry vedení vysokého napětí.

Country site – výběr místa je velmi podobný předchozímu typu BTS s tím rozdílem, že zde nehraje už natolik významnou roli výšková dominance bodu, ale spíše její umístění blíže k zájmovým oblastem pro pokrytí, což jsou obydlené oblasti nebo dopravní koridory a silnice.

City site – protože se jedná většinou o střechy stávajících budov, u nichž se z mapových podkladů nedá úplně přesně určit nejvhodnější místo, většinou se vytipuje několik budov v okolí ideálního místa, mezi nimiž se následně rozhodne po prohlídce přímo v terénu. Ideálním místem je střed v oblasti ulic a domů, které je požadováno vykrýt signálem.

Indoor site, pikocell – výběr místa je jasně daný požadovaným místem pro pokrytí. BTS musí být umístěna ve vzdálenosti několika desítek (max. stovek) metrů od vnitřních prostor, ve kterých je požadováno pokrytí. V těchto prostorách se umisťují vnitřní antény, které jsou s BTS samotnou propojeny buď optickými, nebo koaxiálními kabely.

3.2 Legislativa výstavby základnových stanic

3.2.1 Smluvní vztahy s majiteli

Umístění BTS jakéhokoliv typu vyžaduje smluvní vztah s majitelem pozemku, budovy či jiné nemovitosti, na níž je BTS vybudovaná. Existuje celá škála vhodných smluvních vztahů vycházejících z Obchodního nebo Občanského zákoníku, které je možno pro umístění BTS použít. Nejčastěji používané jsou Smlouvy o umístění zařízení, Nájemní smlouvy, Podnájemní smlouvy, Smlouvy o zřízení věcných břemen...atd. Lze téměř s jistotou předpokládat, že všechny tyto smlouvy jsou úplatné a nejen z tohoto důvodu jsou ze strany operátorů velmi hlídané a utajované.

3.2.2 Stavební řízení

Výstavba BTS podléhá platným zákonům ČR a řídí se mj. Zákonem o územním plánování a stavebním řádu, tzv. Stavebním zákonem [3]. Podle tohoto zákona dle charakteru a rozsahu BTS její výstavba:

- nevyžaduje stavební povolení ani ohlášení podle §103 odst. 1. d
- vyžaduje územní rozhodnutí podle §92
- vyžaduje územní souhlas podle §96
- vyžaduje ohlášení jednoduchých staveb podle §104 odst. 1. c
- vyžaduje stavební povolení podle §115

3.2.3 Památkové zóny, chráněné krajinné oblasti

V době příprav výstavby BTS se k záměru výstavby vyjadřují orgány státní správy a nejrůznější občanská sdružení či fyzické osoby. V městské zástavbě hraje důležitou roli vyjádření Národního památkového ústavu a Památkových odborů magistrátů, které podle Zákona o státní památkové péči [5] dbají na nenarušení vzhledu a stavu nemovitých památek. V rámci připomínek ke stavebnímu řízení kladou podmínky pro povolení výstavby BTS. Výsledkem bývají různá maskování anténních systémů a kabeláže, příkladem mohou být instalace na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Maskování antén

Ve volné přírodě mají poměrně silné slovo kromě správ Chráněných krajinných oblastí i různá ekologická sdružení. I zde operátoři přistupují na kompromisní technická řešení, která však bývají výrazně dražší. BTS se v těchto případech skrývají do různých rozhleden či dokonce mysliveckých posedů, jak je viditelné na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Zasazení BTS do krajiny

3.2.4 Povolení institucí

Podle charakteru výstavby BTS se k záměru vyjadřují i další úřady a instituce. Nelze zde jmenovat všechny, ale namátkou HZS (hasičský záchranný sbor), VÚSS (Vojenská ubytovací a stavební správa), ŘLP (řízení letového provozu), KHS (Krajské hygienické stanice), vlastníci liniových staveb vodovodů, plynovodů apod.

3.2.5 Projektová dokumentace

Pro výstavbu BTS a její projednání ve stavebním řízení musí být zpracovaná projektová dokumentace stavby obsahující všechny legislativní náležitosti vyplývající z platných norem vyjmenovaných např. ve zdroji [12]. Součástí projektové dokumentace je mj. výkresová dokumentace ocelových konstrukcí, projekt elektroinstalace, projekt bezpečného přístupu k anténám, projekt uzemnění a hromosvodu, statický výpočet, geodetické zaměření, projekt požární ochrany a další dílčí projekty.

3.2.6 Hygienické předpisy

Instalace BTS může nepříznivě ovlivnit bezprostřední okolí stanice hlukovou zátěží, která je generovaná hlavně z klimatizačních jednotek, ale také z technologických větráků. Již při plánování výstavby BTS je tedy žádoucí umisťovat klimatizační jednotky a technologické stojany s větráky do míst, která jsou co možná nejvíce vzdálená od obytných místností či kanceláří. Při instalacích klimatizačních jednotek se používají tzv. *silent block*, což jsou podložky z tvrzené gumy zabraňující přenosu vibrací do nosných konstrukcí objektů.

V případě výstavby klíčových koncentračních bodů sítě, kde kromě BTS bývají umístěné i další síťové prvky infrastruktury (BSC, RNC...), které vyžadují spolehlivý přívod elektrické energie, mohou být instalovány záložní diesegenerátory, které zajišťují napájení technologie v případě výpadků dodávek elektrického proudu. Jejich instalace vyžaduje nejen dodržování hlukových limitů, ale i zabezpečení zařízení proti úniku ropných látek.

Každá BTS v České Republice musí dle platné legislativy (viz zdroje [4][6][7][8]) splňovat limity pro nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob. Neionizujícím zářením se rozumí elektrická a magnetická pole (EMP) a elektromagnetické záření o frekvenci do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz (1,7 PHz – peta hertz což je 1 700 000 GHz).

4 Simulace vlivu anténního systému na okolí BTS

4.1 Legislativa – Zákon č.258/2000Sb., NV č.480/2000 Sb., vyhláška 1/2008 Sb.

Zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a související předpisy stanovuje v § 35 „Neionizující záření“ [4] provozovateli BTS mj. povinnost vypracovat dokumentaci, ve které bude doloženo výpočtem nebo měřením dodržení nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob, a předložit tuto dokumentaci příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví. V případě, že nejvyšší přípustné hodnoty jsou překročeny, je provozovateli uložena povinnost provoz zařízení zastavit.

Limitní hodnoty pro elektrická a magnetická pole a elektromagnetická záření s frekvencí od 0Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz jsou stanoveny *Nářízením vlády č. 480/2000 Sb.* [7]. Limity jsou rozdílné pro *zaměstnance* - osoby seznámené s riziky vystavující se EMP při práci, a pro *ostatní osoby* – všechny fyzické osoby. Limitními hodnotami dle tabulky 4.1 jsou určeny:

- *měrný výkon absorbovaný v tkáni těla SAR* pro kterýkoliv interval délky šesti minut pro frekvence 100kHz – 10 GHz a

- *hustota zářivého toku S* specifikovaná jako průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadajícího na plochu 20cm^2 kterékoliv části těla

Tabulka 4.1: Limitní úrovně SAR a S

Nejvyšší přípustné hodnoty		
Měrný výkon absorbovaný v tkáni těla SAR (W/kg)		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
100 kHz - 10 GHz	SAR = 0,08 W/Kg	SAR = 0,4W/Kg
Hustota zářivého toku S (W/m ²)		
Frekvence (f)	Ostatní osoby	Zaměstnanci
10 GHz - 300 GHz	S=10 W/m ²	S=50 W/m ²

Prováděcím právním předpisem Zákona č.258/2000 Sb.[4] je *Nářízením vlády č. 1/2008Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením* [6] , které nejvyšší přípustné hodnoty SAR a S doplňuje o referenční hodnoty pro dobře měřitelné veličiny určené tak, že jejich nepřekročení zaručí, že není překročena ani nejvyšší přípustná hodnota pro měrný absorbovaný výkon. Jde o dvě veličiny, které jsou závislé na frekvenci:

- *referenční úrovně intenzity elektrického pole E* a

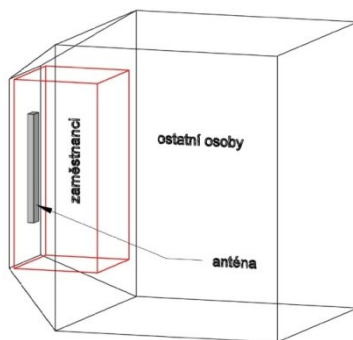
- *referenční úroveň hustoty zářivého toku S.*

Limitní hodnoty těchto veličin určuje tabulka 4.2.

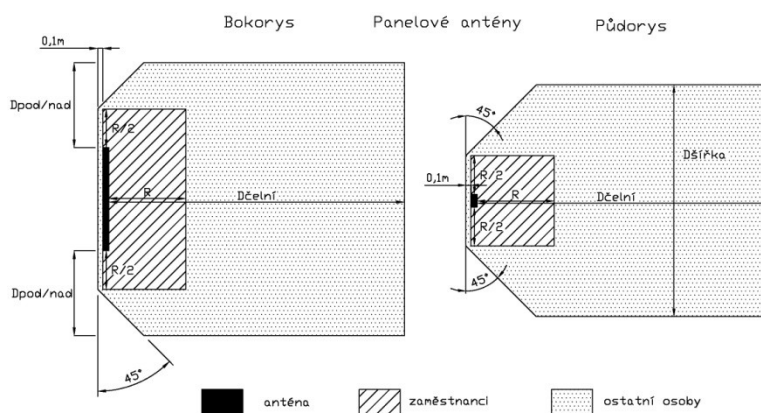
Tabulka 4.2: Referenční úrovně S a E

Referenční hodnoty				
Frekvence f MHz	Hustota zářivého toku S		Intenzita elektrického pole E (V/m)	
	ostatní osoby	zaměstnanci	ostatní osoby	zaměstnanci
	W/m ²	W/m ²	V/m	V/m
450	2,25	11,25	0,03	0,06
800	4,00	20,00	0,04	0,08
900	4,50	22,50	0,04	0,09
1800	9,00	45,00	0,06	0,13
2100	10,00	50,00	61,00	137,00
2600	10,00	50,00	61,00	137,00

Sjednocující postup při výpočtech EMP je specifikován v *Metodickém návodu* vydaném hlavním hygienikem ČR pod čj.: 29015/2009 [8]. Podle tohoto návodu je potřeba určit rozměry zón s možným překročením referenčních hodnot pro pohyb osob v blízkosti antén. Při použití panelových směrových antén, které se v mobilních sítích vyskytují nejčastěji, jsou oblasti určeny podle obrázků 4.1 a 4.2.



Obrázek 4.1: Axonometrie oblastí shody



Obrázek 4.2: Definice zón s omezením pohybu osob

Předmětem výpočtů zón kolem antén jsou rozměry:

R – vzdálenost určující oblast, v níž by mohl být překročen SAR pro zaměstnance - nejvyšší přípustné hodnoty měrného výkonu absorbovaného v tkáni těla pro kterýkoliv interval délky šesti minut

D čelní – vzdálenost před anténou určující oblast, v níž by mohlo dojít k překročení nejvyšších přípustných hodnot pro ostatní osoby

D šířka – horizontální oblast před anténou s rizikem překročení přípustných hodnot

D nad, D pod – prostor nad a pod anténou s rizikem překročení přípustných hodnot

4.2 Výpočet vlivu EMP (elektromagnetického pole) – teorie

Obecnou problematikou vlivu EMP vysílaného z mobilního telefonu se věnuje zdroj [10]. V následujících kapitolách nebude věnována pozornost vlivu mobilního telefonu, ale jeho protějšku, tedy základnové stanice.

4.2.1 Parametry běžně používaných antén

Antén používaných při instalaci technologií 2G, 3G a 4G je na trhu velké množství od různých výrobců. V České republice jsou nejvíce využívány antény výrobce Kathrein [14]. Pro účely výpočtů v této bakalářské práci byly vybrány parametry antén Kathrein uvedené v tabulce 4.3. Katalogové listy uvedených antén jsou v přílohách A-D.

Tabulka 4.3: Antény Kathrein

vybrané typy antén Kathrein								
typové označení	741516	80010634	80010634	742215	742215	80010651	80010651	80010651
multiband	1-band	1-band	1-band	1-band	1-band	1-band	1-band	1-band
frekvence [MHz]	450	800	900	1800	2100	1800	2100	2600
G [dBi]	15	16,4	16,8	17,8	18,2	18,5	19	19,5
L délka [m]	2	2	2	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7
ϕ horizontální vyz.úhel [°]	65	69	65	68	64	67	63	58
ω vertikální vyz.úhel [°]	18	10	9,7	7,1	6,4	5,4	4,9	4,3
ϕ_{el} - elektrický tilt [°]	0	10	10	10	10	6	6	6

4.2.2 Parametry a vysílací výkony technologií BTS, NodeB a eNodeB

Stávající operátoři v České Republice využívají ve své infrastruktuře nejčastěji technologii Huawei s výkonovými jednotkami RRU (Radio remote unit) 3928. Uvedené jednotky vysílají maximálním výkonem **40W** v pásmu 2G GSM **900MHz** a v pásmu 3G UMTS FDD **2100 MHz**. Tento vysílací výkon bude udán v dalších výpočtech pro frekvence 900MHz a 2100MHz. Přesné hodnoty výkonů jednotek RRU jsou definovány v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4: Vysílací výkony technologie Huawei

Typical RRU3928 configuration - output power			
Number of GSM Carriers	Number of UMTS Carriers	Output power per GSM Carrier [W]	Output power per UMTS Carrier [W]
1	1	40	40
2	1	20	40
3	1	13	40
4	1	10	40
1	2	40	20
2	2	20	20
3	2	13	20
4	2	10	20

Pro technologii 4G – LTE zatím nelze přesně specifikovat typ technologií, které budou operátoři ve svých sítích nasazovat, proto pro další výpočty určíme maximální vysílací výkon z podmínek výběrového řízení ČTÚ [13] vyhlášeného za účelem udělení licencí pro pásma 4G LTE dle čl. 5.1.

Pro frekvenční pásmo **800MHz** je zde určena mezní hodnota EIRP (ekvivalentní izotropně vyzářený výkon) +60dBm na pásmo o šířce 5MHz. Pro šířku pásma 10MHz, kterou lze v tomto frekvenčním pásmu předpokládat jako žádoucí ze strany operátorů, budeme počítat s dvojnásobným výkonem a tedy mezní hodnotou EIRP +63dBm/10MHz. Při použití antény se ziskem 16dBi vypočteme ze vzorce 4.1 teoretické možnosti hodnoty výkonu vysílací jednotky eNodeB ERP (efektivní vyzářený výkon) = +48,17 dBm = **63W** [9]. Tento vysílací výkon budeme udávat v dalších výpočtech pro frekvenci 800MHz.

$$ERP [dBm] = \frac{EIRP [dBm]}{1,64} \quad (4.1)$$

Pro frekvenční pásmo **2600MHz** je určena mezní hodnota EIRP +61dBm na pásmo o šířce 5MHz. Pro šířku pásma 20MHz, kterou lze v tomto frekvenčním pásmu předpokládat jako žádoucí ze strany operátorů, budeme počítat se čtyřnásobným výkonem a tedy mezní hodnotou EIRP +67dBm/20MHz. Při použití antény se ziskem 16dBi dojdeme výpočtem dle vzorce 4.1 k výkonu ERP = +51 dBm = **125W**, přepočteno dle interaktivní kalkulačky [9]. Tento vysílací výkon budeme udávat v dalších výpočtech pro frekvenci 2600MHz.

Pro frekvenční pásmo **1800MHz** nejsou ze strany ČTÚ vydány žádné upřesňující podmínky. Pro další výpočty budeme pro tuto frekvenci uvažovat s vysílacím výkonem ERP = **60W**

Pro frekvenční pásmo **450MHz** budeme počítat s výkonem, který umožňuje technologie BTS MetroCell Nortel používaná v síti Telefónica. Pro šířku pásma 2x5 MHz budeme ve výpočtech počítat s výkonem ERP = **36W**, který je uveden ve zdroji [11]

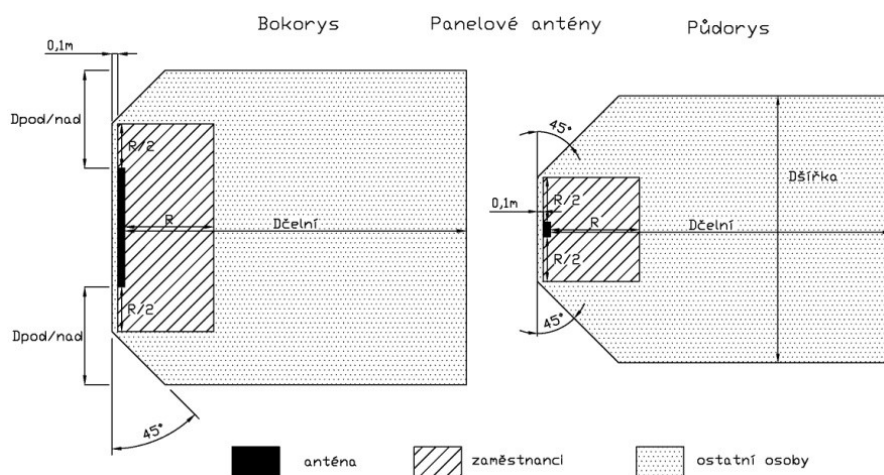
Celkový výpis výkonů na jednotlivých frekvencích je shrnutý v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5: Vysílací výkony

Vysílací výkony ERP - BTS, NodeB, eNodeB		
frekvence f	ERP	ERP
MHz	dBm	W
450	45,56	36,00
800	48,17	63,00
900	46,02	40,00
1800	47,78	60,00
2100	46,02	40,00
2600	51,00	125,00

4.2.3 Popis výpočtu EMP

Při výpočtu je cílem určit rozměry oblastí s rizikem překročení přípustných hodnot dle obrázku 4.3



Obrázek 4.3: Definice rozměrů ochranných zón

4.2.3.1 Rozměr R

je určen Metodickým návodem vydaným hlavním hygienikem ČR pod č.j.: 29015/2009 [8]. Prostřednictvím výpočtů elektromagnetického pole, beroucí v úvahu i vlastnosti lidského těla, byly pro antény používané v mobilních sítích sestaveny tabulky (viz tabulka 4.6) závislosti výkonu P [W] na svorkách antény, horizontálního vyzařovacího úhlu antény φ [°] a parametru R [m].

Tabulka 4.6: Závislost parametru R na výkonu

horizontální úhel $\varphi < 60^\circ$								
P [W]	0-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

horizontální úhel $\varphi > 60^\circ$								
P [W]	0-70	70-120	120-180	180-250	250-300	300-350	350-430	430-500
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

4.2.3.2 $D^{\text{čelní}}$

hranice shody pro ostatní osoby $D^{\text{čelní}}$ je určen jako menší z hodnot $D^{\text{čelní FF}}$ a $D^{\text{čelní NF}}$.

$$D^{\text{čelní}} = \min(D^{\text{čelní FF}}; D^{\text{čelní NF}}) \quad (4.2)$$

$D^{\text{čelní FF}}$ – hranice shody pro vzdálené pole (far field) od antény vychází ze vztahu:

$$D^{\text{čelní FF}} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{S_{\text{ref}}}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{ref}}}} \quad (4.3)$$

Kde I_{\max} je zářivost ve směru maxima vyzařování

$$I_{\max} [W/sr] = \frac{EIRP}{4 \cdot \pi} = \frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi} = \frac{P \cdot 10^{0,1G \text{ dBi}}}{4 \cdot \pi} \quad (4.4)$$

EIRP – ekvivalentní izotropně vyzářený výkon

P[W] – vysokofrekvenční výkon přiváděný na konektor antény

G[W] – zisk antény ve směru maxima vyzařování

S_{ref} je referenční úroveň hustoty zářivého toku

$D^{\text{čelní NF}}$ – hranice shody pro blízké pole (near field) od antény vychází ze vztahu:

$$D^{\text{čelní NF}} = \frac{P}{S_{\text{ref}} \cdot L \cdot \varphi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad (4.5)$$

P[W] – vysokofrekvenční výkon přiváděný na konektor antény

S_{ref} – referenční úroveň hustoty zářivého toku

L [m] – svislý rozměr antény

$\varphi [^\circ]$ – šířka svazku vyzařovací antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

$\frac{\pi}{180}$ – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány

4.2.3.3 $D^{\text{šířka}}$

hranice shody pro ostatní osoby $D^{\text{šířka}}$ je odvozena od hlavního rozměru $D^{\text{čelní}}$.

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{D^{\text{čelní}}}{Q} \quad (4.6)$$

$\varphi [^\circ]$ – šířka svazku vyzařovací antény v horizontální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

Q – koeficient s hodnotou $\sqrt{2}$ v případě, že $D^{\text{celní}}$ bylo vypočteno ze (vzorec 2) nebo s hodnotou 2 v případě, že $D^{\text{celní}}$ bylo vypočteno ze (vzorec 4)

$\frac{\pi}{180}$ – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány

4.2.3.4 D^{nad} a D^{pod}

hranice shody pro ostatní osoby D^{nad} a D^{pod} je určena jako větší z hodnot:

$$D^{\text{nad/pod}} = \max\left(\frac{R}{2} + 0,1 ; D^{\text{celní}} \cdot \sin\left(\left(\eta_{\text{tilt}} + \frac{\omega}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \frac{L}{2}\right) \quad (4.7)$$

R [m] – rozměry oblasti, v níž by mohla být překročena nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

η_{tilt} [°] – celkový mechanický a elektrický sklon antény

ω [°] – šířka svazku vyzařovací antény ve vertikální rovině pro pokles zářivosti na hodnotu rovnou polovině zářivosti ve směru maxima (pokles 3dB)

L [m] – svislý rozměr antény

$\frac{\pi}{180}$ – šířka svazku je definovaná ve stupních, převod na radiány

Při výpočtu expoziční situace EMP na základnové stanici je nutno k výše uvedeným výpočtům počítat i s ovlivňováním elektromagnetického pole od ostatních antén základnové stanice. Ať už jde o antény stejného systému vysílající do jiných azimutů nebo i o antény jiných systémů vysílajících do stejných azimutů. Limitní vzdálenost dvou antén, jejichž vliv se navzájem zohledňuje je 30m. Nad tuto vzdálenost se se vzájemným vlivem neuvažuje.

Pro výpočet expozice **pro zaměstnance** se sčítají výkony P antén jednotlivých buněk v závislosti na vzdálenosti umístění antén a jejich vysílacích azimutů určené ve výpočtu koeficientem M_{ANT} , který nabývá hodnot nula nebo jedna:

$$P_{\text{celk}} = P_{\text{ANT1}} + P_{\text{ANT2}} \cdot M_{\text{ANT2}} + P_{\text{ANT3}} \cdot M_{\text{ANT3}} + \dots + P_{\text{ANTk}} \cdot M_{\text{ANTk}} \quad (4.8)$$

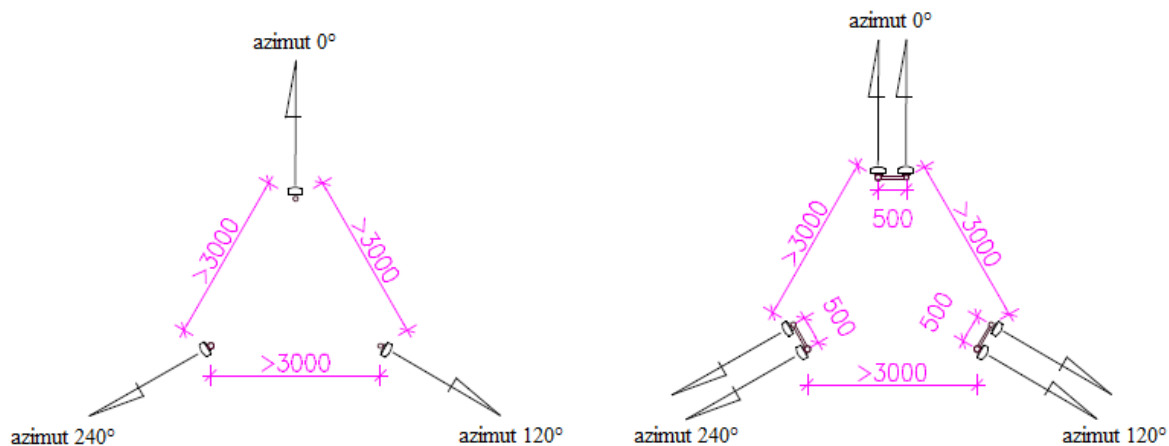
P_{CELK} – celkový výkon [W]

P_{ANT1} – výkon antény 1 [W]

$P_{\text{ANT2}}, P_{\text{ANT3}}, \dots, P_{\text{ANTk}}$ – výkon ostatních antén [W]

$M_{\text{ANT2}}, M_{\text{ANT3}}, \dots, M_{\text{ANTk}}$ – koeficient pro výpočet vlivu [0,1]

Přesný výpočet včetně závislosti určování koeficientu je popsán v Metodickém návodu hl. hygienika [8]. Pro zjednodušení dalších výpočtů budeme uvažovat, že na jedné základnové stanici jsou umístěné antény buněk stejného systému ve vzájemné horizontální vzdálenosti $d \geq 3\text{m}$ dle obrázku 4.4 a vyzařovací úhly buněk jsou navzájem pootočený o 120° . V tomto případě je počítáno s koeficientem $M_{\text{ANT}} = 0$ a výkony se tedy nesčítají. V případě, že se na základnové stanici nacházejí antény různých systémů, budeme počítat, že se nacházejí jednotlivé sektory v bezprostřední blízkosti a v tomto případě je počítáno s koeficientem $M_{\text{ANT}} = 1$ a výkony sousedících antén se sčítají.



Obrázek 4.4: Půdorysné rozmístění antén jednoho a dvou frekvenčních systémů

Pro výpočet expozice **pro ostatní osoby** se určují parametry $D^{\text{čelní}}$, pro jejichž výpočet je počítáno s vypočtenou vzdáleností $D^{\text{čelníNF}}$, $D^{\text{čelníFF}}$ pro všechny ovlivňující se antény, vzájemnou polohou antén, jejich směřováním a s koeficientem K_{ANT} , nabývající hodnot 0, 0,5 nebo 1.

Parametr $D^{\text{čelní}}$ je menší z hodnot vypočtených ze vzorců:

$$D^{\text{čelní}} = \sqrt{(D_{\text{ant1}}^{\text{čelníFF}})^2 + K_{\text{ant2}} \cdot (D_{\text{ant2}}^{\text{čelníFF}})^2 + \dots + K_{\text{ant n}} \cdot (D_{\text{ant n}}^{\text{čelníFF}})^2} \quad (4.9)$$

$$D^{\text{čelní}} = D_{\text{ant1}}^{\text{čelníNF}} + K_{\text{ant2}} \cdot D_{\text{ant2}}^{\text{čelníNF}} + \dots + K_{\text{ant n}} \cdot D_{\text{ant n}}^{\text{čelníNF}} \quad (4.10)$$

Z hodnoty $D^{\text{čelní}}$ jsou následně dopočítány $D^{\text{šířka}}$, $D^{\text{nad/pod}}$ podle vzorců 4.6 a 4.7

Pro zjednodušení dalších výpočtů budeme opět uvažovat vzájemnou horizontální vzdálenost antén stejného systému $d \geq 3\text{m}$ a vyzařovací úhly buněk jsou navzájem pootočený o 120° . Koeficient K_{ANT} bude roven nule.

V případě, že se na základnové stanici nacházejí antény různých systémů, budeme počítat, že se nacházejí antény jednotlivých sektorů v bezprostřední blízkosti $d < 1\text{m}$, jejich vyzařovací azimuty jsou shodné a v tom případě je počítáno s koeficientem $K_{\text{ANT}} = 1$.

4.3 Výpočet EMP a ochranné zóny kolem antén

Není-li uvedeno jinak, bude ve výpočtech v této kapitole počítáno s následujícími konkrétními anténami pro jednotlivá frekvenční pásma. Katalogové listy jednotlivých antén jsou uvedeny v přílohách A - D.

450MHz	Kathrein 741516
800MHz	Kathrein 80010634
900MHz	Kathrein 80010634
1800MHz	Kathrein 742215
2100MHz	Kathrein 742215
2600MHz	Kathrein 80010651

4.3.1 Výpočet EMP pro jednu buňku a srovnání vlivu jednotlivých frekvencí

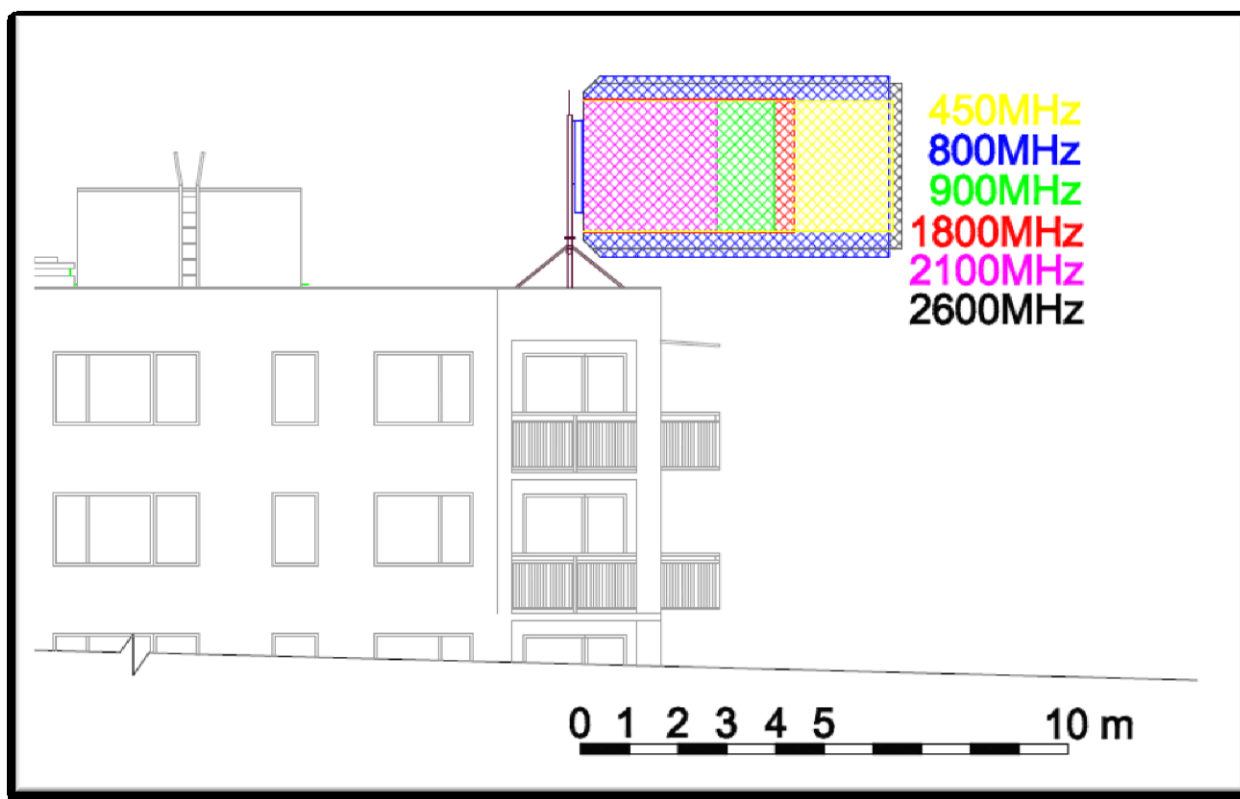
Při těchto výpočtech bylo uvažováno, že základnová stanice mobilní sítě je osazena vždy pouze jedním frekvenčním systémem a pouze jednou vysílací anténou vysílající do libovolného směru. Anténa není ovlivňována jakýmkoliv jiným elektromagnetickým polem. Vysílací výkon je určen podle hodnot v odstavci 4.2.2.

Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.7. Z těchto výsledků je patrná nepřímá úměrnost mezi velikostí ochranné zóny kolem antény a vysílací frekvencí. Toto je však zřejmé pouze v pásmech 450 – 2100 MHz. U nejvyšší frekvence 2600 MHz naopak dochází k podstatnému navýšení hodnot ochranných zón a velikosti jsou srovnatelné s nejnižší frekvencí 450MHz. Nárůst je způsoben poměrně velkým vysílacím výkonem (viz tabulka 4.5), s nímž se u této frekvence počítá.

Tabulka 4.7: Zóny vlivu pro jednotlivé frekvence

frekvence [MHz]	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
450	0,50	6,35	4,82	0,35
800	0,50	6,54	3,70	0,69
900	0,50	3,92	2,10	0,35
1800	0,50	4,32	2,42	0,36
2100	0,50	2,75	1,46	0,35
2600	1,50	6,29	3,47	0,85

Na obrázku 4.5 jsou pro srovnání zakresleny zóny kolem antén vysílajících na jednotlivých frekvencích.



Obrázek 4.5: Porovnání vlivu jednotlivých frekvencí

4.3.2 Výpočet EMP pro jednu buňku s kombinací frekvencí

Při těchto výpočtech bylo uvažováno, že základnová stanice mobilní sítě je osazena současně více frekvenčními systémy, které vysílají do samostatných antén instalovaných vedle sebe s osovými vzdálenostmi 0,5m a směřovanými do shodného libovolného směru. Antény jsou ovlivňovány navzájem, ale nejsou ovlivňovány jakýmkoliv jinými elektromagnetickými poli. Vysílací výkon jsou určeny podle hodnot v kapitole 4.2.2.

V prvním výpočtu je počítáno s frekvencemi sítě 2G (900MHz) a 3G (450MHz a 2100MHz). Jak je patrné z tabulky 4.8, vzájemná kombinace frekvenčních pásem a výkonů vysílaných do antén zapříčinila podstatný, téměř trojnásobný, nárůst rozměrů všech ochranných zón v porovnání se samostatným vysíláním v jednotlivých pásmech popsaných v kapitole 4.3.1.

Tabulka 4.8: Zóny kombinací frekvencí 450, 900 a 2100MHz

frekvence [MHz]	R [m]	D _{čelní} [m]	D _{šířka} [m]	D _{nad/pod} [m]
450	1,00	9,75	7,41	0,60
900	1,00	9,75	7,41	1,50
2100	1,00	9,75	7,31	1,58

- a) V dalších třech tabulkách 4.9, 4.10 a 4.11 jsou výsledky výpočtů ochranných zón při osazení systémů 2G a 3G a doplněn vždy o jedno frekvenční pásmo 4G LTE. Maximálních hodnot velikosti ochranných zón je dosaženo při kombinaci s frekvencí 2600 MHz, při které je počítáno s největším vysílacím výkonem.

Tabulka 4.9: Zóny kombinací frekvencí 450, 900, 2100 a 800 MHz

frekvence [MHz]	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šířka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
450	1,50	12,24	9,30	0,92
900	1,50	12,24	9,30	2,14
2100	1,50	12,24	9,17	2,15
800	1,50	12,24	9,81	2,17

Tabulka 4.10: Zóny kombinací frekvencí 450, 900, 2100 a 1800 MHz

frekvence [MHz]	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šířka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
450	1,50	11,27	8,57	0,85
900	1,50	11,27	8,57	1,89
2100	1,50	11,27	8,45	1,92
1800	1,50	11,27	8,92	1,99

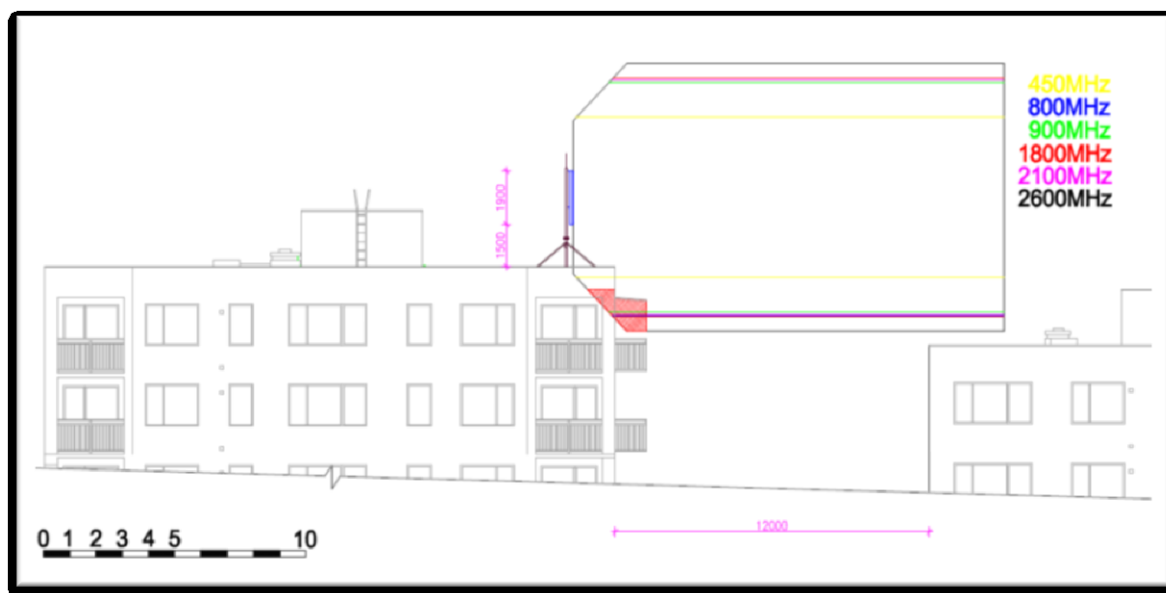
Tabulka 4.11: Zóny kombinací frekvencí 450, 900, 2100 a 2600 MHz

frekvence [MHz]	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šířka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
450	2,00	13,56	10,30	1,12
900	2,00	13,56	10,30	2,47
2100	2,00	13,56	10,16	2,45
2600	2,00	13,56	10,58	1,10

- b) V poslední tabulce 4.12 je počítáno s kombinací všech frekvencí systémů 2G, 3G a 4G. U této maximální kombinace jsou všechny hodnoty natolik výrazné, že je zde zvýšená pravděpodobnost, že ochranná zóna kolem antén může svým rozměrem zasáhnout i prostory s volným pohybem osob, což je samozřejmě nežádoucí. Kritický může být obzvláště rozměr D^{pod} , což je patrné z modelového příkladu na obrázku 4.6, kde zóny již zasahují do prostoru balkónu a bytu v posledním NP.

Tabulka 4.12: Zóny kombinací všech frekvencí

frekvence [MHz]	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šířka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
450	3,50	16,45	12,50	1,85
800	3,50	16,45	12,50	3,22
900	3,50	16,45	12,33	3,11
1800	3,50	16,45	13,17	3,26
2100	3,50	16,45	13,01	3,20
2600	3,50	16,45	11,28	3,78



Obrázek 4.6: Ochranné zóny při použití všech frekvencí

4.3.3 Výpočet EMP pro tři buňky (typická konfigurace) a srovnání vlivu jednotlivých frekvencí

V dalších výpočtech bylo uvažováno, že základnová stanice mobilní sítě je osazena vždy pouze jedním frekvenčním systémem, ale na rozdíl od kapitoly 4.3.1 třemi vysílacími anténami vysílající stejným výkonem do libovolných směrů, které jsou vzájemně posunuty o 120° a vzájemně vzdáleny $>3\text{m}$ (viz obrázek 4.4). Antény nejsou ovlivňovány jakýmkoliv jiným elektromagnetickým polem. Výpočty byly provedeny pro mezní frekvence 450MHz a 2600MHz a také pro frekvenci 900MHz.

Z výsledků v tabulce 4.13 je patrné, že všechny rozměry zón jsou identické s rozměry vypočtenými v kapitole 4.3.1, což je způsobeno tím, že antény jsou vzájemně pootočené o úhel, který vylučuje vzájemné ovlivnění EMP kolem antény.

Tabulka 4.13: Zóny pro jednotlivé frekvence tříbuňkové BTS

frekvence [MHz]	azimut [°]	R [m]	D _{čelní} [m]	D _{širka} [m]	D _{nad/pod} [m]
450	0	0,50	6,35	4,82	0,35
450	120	0,50	6,35	4,82	0,35
450	240	0,50	6,35	4,82	0,35
frekvence [MHz]	azimut [°]	R [m]	D _{čelní} [m]	D _{širka} [m]	D _{nad/pod} [m]
900	0	0,50	3,92	2,10	0,35
900	120	0,50	3,92	2,10	0,35
900	240	0,50	3,92	2,10	0,35
frekvence [MHz]	azimut [°]	R [m]	D _{čelní} [m]	D _{širka} [m]	D _{nad/pod} [m]
2600	0	1,50	6,29	3,47	0,85
2600	120	1,50	6,29	3,47	0,85
2600	240	1,50	6,29	3,47	0,85

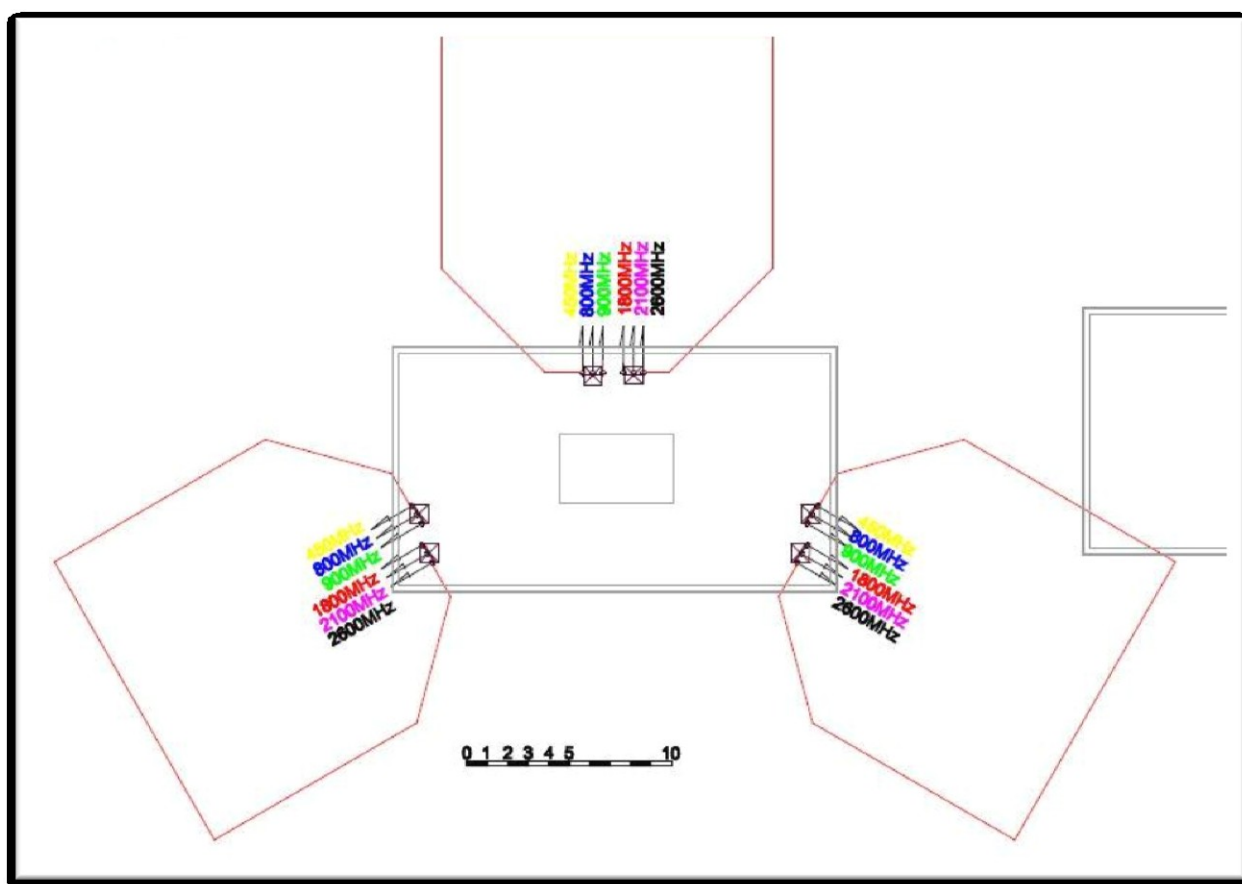
4.3.4 Výpočet EMP pro tři buňky s kombinací frekvencí

V tomto výpočtu bylo stejně jako v kapitole 4.3.2 uvažováno, že základnová stanice mobilní sítě je osazena současně všemi frekvenčními systémy, které vysílají do samostatných antén instalovaných vedle sebe s osovými vzdálenostmi 0,5m a směřovanými do tří azimutů se vzájemným posunem o 120°. Antény jsou ovlivňovány navzájem, ale nejsou ovlivňovány jakýmkoliv jinými elektromagnetickými poli. Vysílací výkony jsou určeny dle kapitoly 4.2.2.

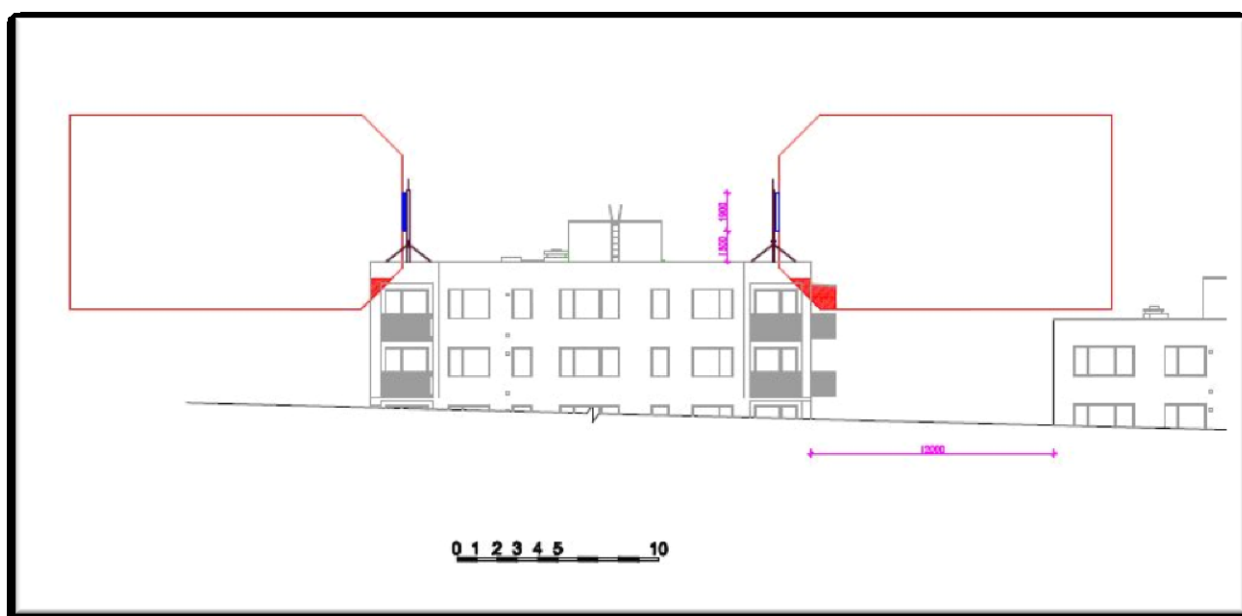
Výsledkem dle tabulky 4.14 jsou stejně jako v kapitole 4.3.2 značné rozměry zón kolem antén. I zde se ale neprojevuje vzájemné ovlivňování antén, které jsou navzájem pootočený o úhel větší než 90° a rozměry zón jsou shodné jako v kapitole 4.3.2. Na obrázcích 4.7 a 4.8 jsou zakresleny hranice zón do půdorysu a pohledu modelového příkladu panelového domu.

Tabulka 4.14: Zóny pro všechny frekvence tříbuňkové BTS

frekvence [MHz]	azimut [°]	R [m]	D _{čelní} [m]	D _{šířka} [m]	D _{nad/pod} [m]
450	0,00	3,50	16,45	12,50	1,85
800	0,00	3,50	16,45	12,50	3,22
900	0,00	3,50	16,45	12,33	3,11
1800	0,00	3,50	16,45	13,17	3,26
2100	0,00	3,50	16,45	13,01	3,20
2600	0,00	3,50	16,45	11,28	3,78
450	120,00	3,50	16,45	12,50	1,85
800	120,00	3,50	16,45	12,50	3,22
900	120,00	3,50	16,45	12,33	3,11
1800	120,00	3,50	16,45	13,17	3,26
2100	120,00	3,50	16,45	13,01	3,20
2600	120,00	3,50	16,45	11,28	3,78
450	240,00	3,50	16,45	12,50	1,85
800	240,00	3,50	16,45	12,50	3,22
900	240,00	3,50	16,45	12,33	3,11
1800	240,00	3,50	16,45	13,17	3,26
2100	240,00	3,50	16,45	13,01	3,20
2600	240,00	3,50	16,45	11,28	3,78



Obrázek 4.7: Ochranné zóny pro tři buňky při použití všech frekvencí - půdorys



Obrázek 4.8: Ochranné zóny pro tři buňky při použití všech frekvencí - pohled

4.3.5 Výpočet EMP pro případ sdílení střechy jedné budovy dvěma, popř. třemi mobilními operátory

Vzhledem k výsledkům výpočtů v kapitolách 4.3.2 a 4.3.4 bylo v následujících výpočtech počítáno pouze s konfigurací antén směřujících do libovolného, ale vždy shodného azimutu. Je zde počítáno s anténami dvou, resp. tří operátorů, kteří sdílejí pro svůj anténní systém prostor na střeše jednoho společného objektu. Antény jsou ovlivňovány navzájem, ale nejsou ovlivňovány jakýmkoliv jinými elektromagnetickými poli. Vysílací výkony jsou opět určeny dle kapitoly 4.2.2.

- a) V prvním výpočtu jsou zohledněny frekvence sítí 2G (900MHz) a 3G (2100MHz) pro dva (v tabulce 4.15), resp. pro tři (v tabulce 4.16) operátory.

Tabulka 4.15: Zóny pro dva operátory a frekvence 2G + 3G

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	1,50	10,48	7,95	1,69
2100	operátor 1	1,50	10,48	7,85	1,74
900	operátor 2	1,50	10,48	7,95	1,69
2100	operátor 2	1,50	10,48	7,85	1,74

Tabulka 4.16: Zóny pro tři operátory a frekvence 2G + 3G

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	2,00	12,82	9,75	2,29
2100	operátor 1	2,00	12,82	9,62	2,28
900	operátor 2	2,00	12,82	9,75	2,29
2100	operátor 2	2,00	12,82	9,62	2,28
900	operátor 3	2,00	12,82	9,75	2,29
2100	operátor 3	2,00	12,82	9,62	2,28

- b) V dalších tabulkách 4.17, 4.18 a 4.19 jsou uvedeny výsledky výpočtů ochranných zón při osazení systémů 2G a 3G a doplněny vždy o jedno frekvenční pásmo 4G LTE pro dva resp. pro tři operátory. Z výsledků je patrné, že ve všech případech kombinace systémů 2G+3G a systému 4G se značným způsobem navýší rozměry všech zón kolem antén. Nejvíce je to zřejmé u frekvence 800MHz, kde při sdílení třemi operátory dosahuje D^{čelní} více než 18m a u frekvence 2600MHz kde D^{nad/pod} dosahuje přes 3,7m.

Tabulka 4.17: Zóny pro více operátorů a frekvence 2G + 3G + 4G(800MHz)

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
800	operátor 1	2,50	14,81	11,86	2,83
900	operátor 1	2,50	14,81	11,25	2,79
2100	operátor 1	2,50	14,81	11,10	2,73
800	operátor 2	2,50	14,81	11,86	2,83
900	operátor 2	2,50	14,81	11,25	2,79
2100	operátor 2	2,50	14,81	11,10	2,73
frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
800	operátor 1	3,50	18,13	14,52	3,69
900	operátor 1	3,50	18,13	13,78	3,65
2100	operátor 1	3,50	18,13	13,59	3,49
800	operátor 2	3,50	18,13	14,52	3,69
900	operátor 2	3,50	18,13	13,78	3,65
2100	operátor 2	3,50	18,13	13,59	3,49
800	operátor 3	3,50	18,13	14,52	3,69
900	operátor 3	3,50	18,13	13,78	3,65
2100	operátor 3	3,50	18,13	13,59	3,49

Tabulka 4.18: Zóny pro více operátorů a frekvence 2G + 3G + 4G(1800MHz)

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	2,50	13,18	10,01	2,38
1800	operátor 1	2,50	13,18	10,42	2,44
2100	operátor 1	2,50	13,18	9,88	2,36
900	operátor 2	2,50	13,18	10,01	2,38
1800	operátor 2	2,50	13,18	10,42	2,44
2100	operátor 2	2,50	13,18	9,88	2,36
frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	3,50	16,14	12,27	3,14
1800	operátor 1	3,50	16,14	12,77	3,13
2100	operátor 1	3,50	16,14	12,10	3,04
900	operátor 2	3,50	16,14	12,27	3,14
1800	operátor 2	3,50	16,14	12,77	3,13
2100	operátor 2	3,50	16,14	12,10	3,04
900	operátor 3	3,50	16,14	12,27	3,14
1800	operátor 3	3,50	16,14	12,77	3,13
2100	operátor 3	3,50	16,14	12,10	3,04

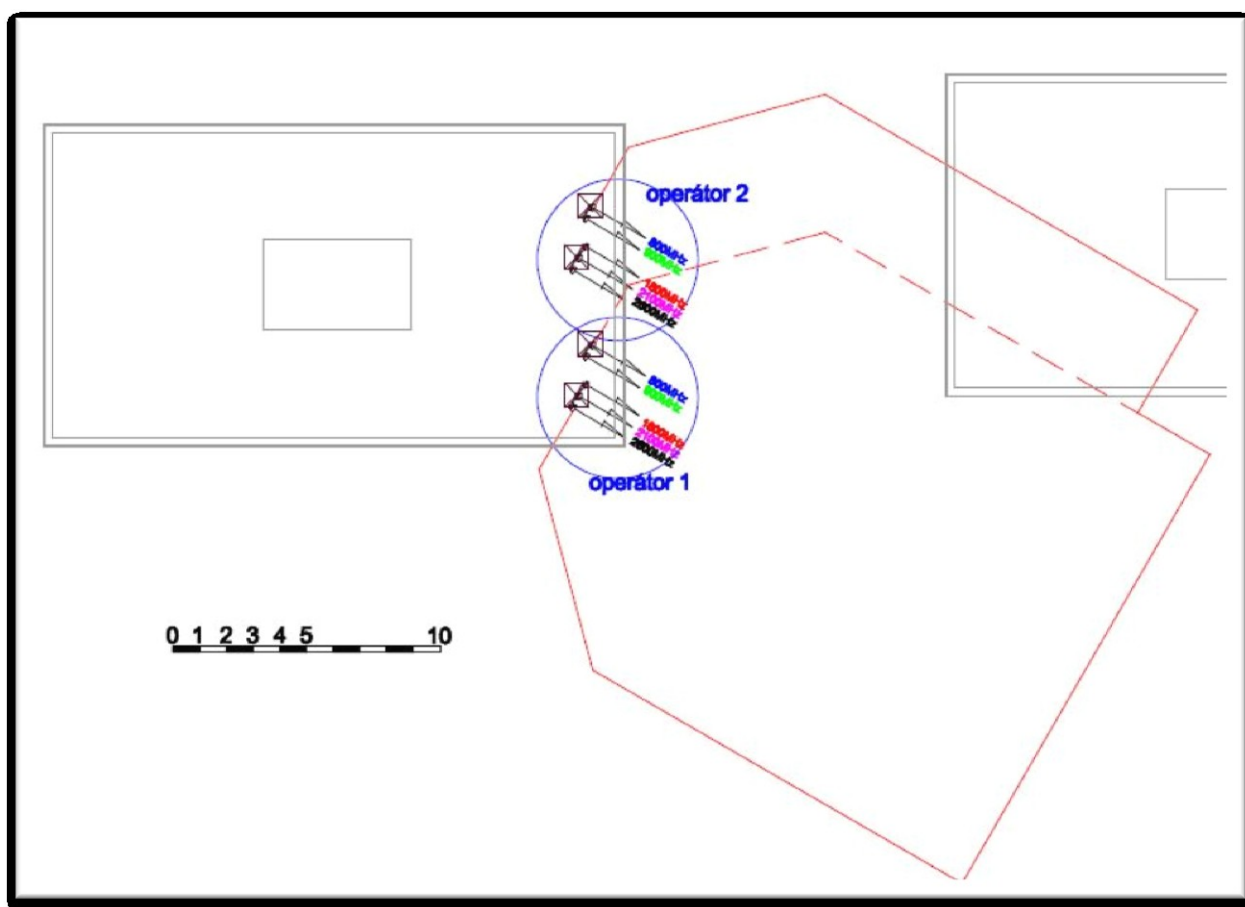
Tabulka 4.19: Zóny pro více operátorů a frekvence 2G + 3G + 4G(2600MHz)

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	1,50	10,48	7,96	1,69
2100	operátor 1	1,50	10,48	7,85	1,74
2600	operátor 1	3,08	13,32	9,13	3,08
900	operátor 2	1,50	10,48	7,96	1,69
2100	operátor 2	1,50	10,48	7,85	1,74
2600	operátor 2	3,08	13,32	9,13	3,08
frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
900	operátor 1	2,00	12,83	9,75	2,29
2100	operátor 1	2,00	12,83	9,62	2,28
2600	operátor 1	3,75	16,31	11,18	3,75
900	operátor 2	2,00	12,83	9,75	2,29
2100	operátor 2	2,00	12,83	9,62	2,28
2600	operátor 2	3,75	16,31	11,18	3,75
900	operátor 3	2,00	12,83	9,75	2,29
2100	operátor 3	2,00	12,83	9,62	2,28
2600	operátor 3	3,75	16,31	11,18	3,75

- c) V poslední tabulce 4.20 je počítáno s kombinací všech frekvencí systémů 2G, 3G a 4G pro dva resp. pro tři operátory. Při těchto kombinacích jsou rozměry zón největší ze všech předchozích výpočtů. Všechny rozměry jsou velmi výrazné. Vliv EMP na okolní prostředí je zřejmý z obrázků 4.9 a 4.10, které znázorňují modelové příklady umístění na střeše panelového domu.

Tabulka 4.20: Zóny pro více operátorů a všechny frekvence 2G + 3G + 4G

frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
800	operátor 1	4,90	21,46	17,19	4,90
900	operátor 1	4,90	21,46	16,30	4,90
1800	operátor 1	4,90	21,46	16,97	4,90
2100	operátor 1	4,90	21,46	16,08	4,90
2600	operátor 1	4,90	21,46	14,71	4,90
800	operátor 2	4,90	21,46	17,19	4,90
900	operátor 2	4,90	21,46	16,30	4,90
1800	operátor 2	4,90	21,46	16,97	4,90
2100	operátor 2	4,90	21,46	16,08	4,90
2600	operátor 2	4,90	21,46	14,71	4,90
frekvence [MHz]	operátor	R [m]	D ^{čelní} [m]	D ^{šifka} [m]	D ^{nad/pod} [m]
800	operátor 1	5,98	26,28	21,05	5,98
900	operátor 1	5,98	26,28	19,97	5,98
1800	operátor 1	5,98	26,28	20,78	5,98
2100	operátor 1	5,98	26,28	19,69	5,98
2600	operátor 1	5,98	26,28	18,02	5,98
800	operátor 2	5,98	26,28	21,05	5,98
900	operátor 2	5,98	26,28	19,97	5,98
1800	operátor 2	5,98	26,28	20,78	5,98
2100	operátor 2	5,98	26,28	19,69	5,98
2600	operátor 2	5,98	26,28	18,02	5,98
800	operátor 3	5,98	26,28	21,05	5,98
900	operátor 3	5,98	26,28	19,97	5,98
1800	operátor 3	5,98	26,28	20,78	5,98
2100	operátor 3	5,98	26,28	19,69	5,98
2600	operátor 3	5,98	26,28	18,02	5,98



Obrázek 4.9: Ochranné zóny při použití všech frekvencí dvou operátorů - půdorys

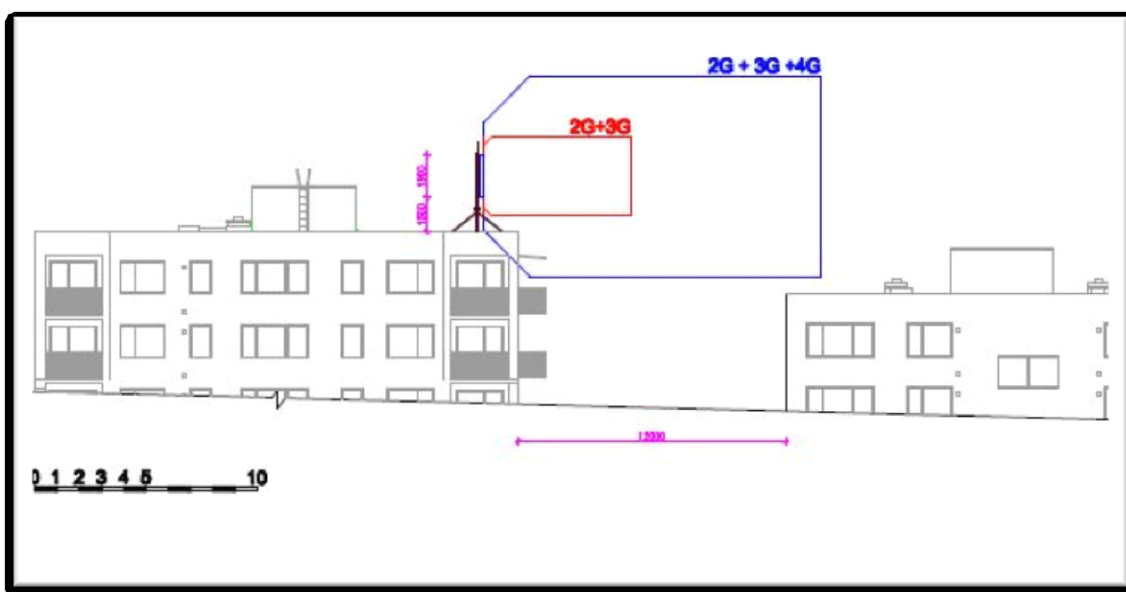


Obrázek 4.10: Ochranné zóny při použití všech frekvencí dvou operátorů - pohled

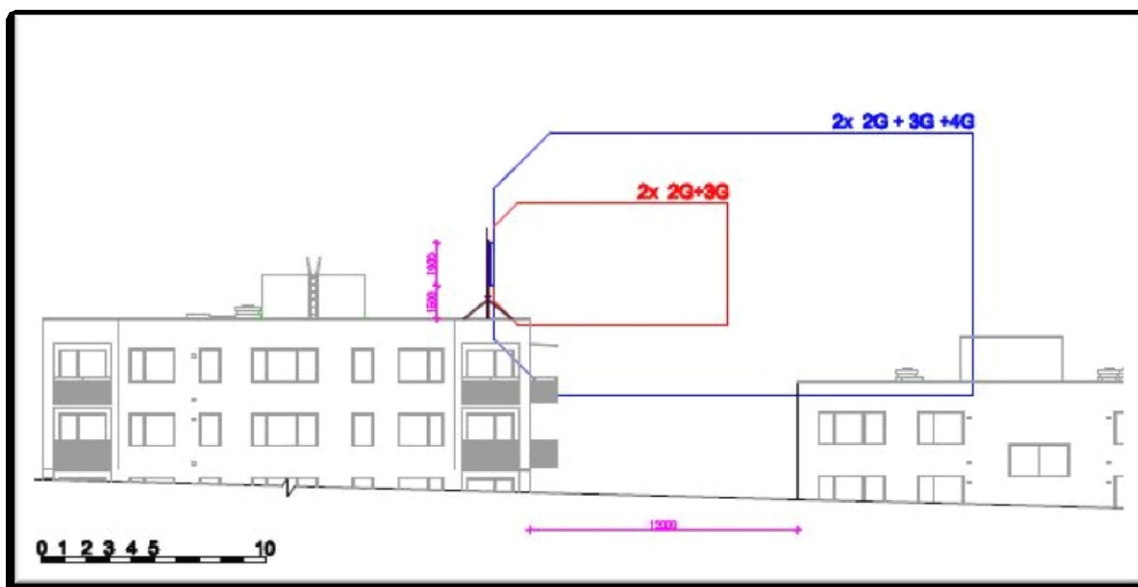
4.3.6 Shrnutí - porovnání ochranných zón stávajících základnových stanic a s přidáním 4G-LTE

V této kapitole je vizuálně znázorněno porovnání rozměrů ochranných zón kolem antén 2G+3G sítě a přidáním 4G antén. Ochranné zóny přidáním antén 4G značně narůstají.

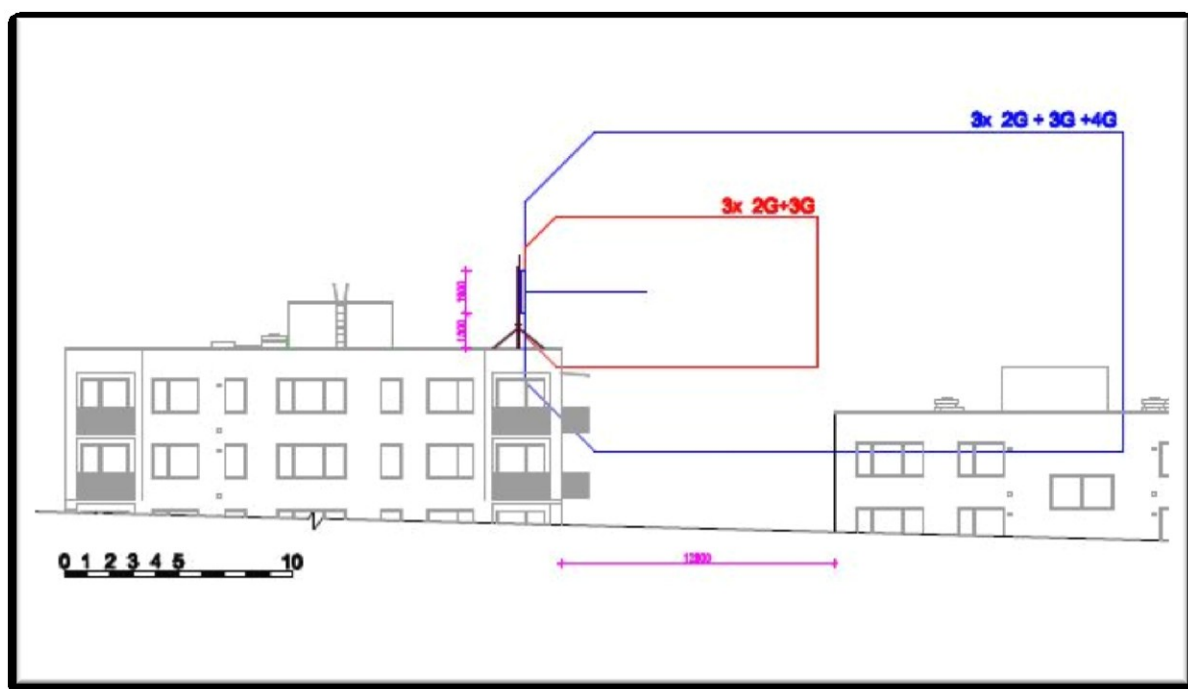
Na prvním obrázku 4.11 jsou srovnány ochranné zóny pro konfiguraci anténního systému jednoho operátora. Na dalších dvou obrázcích 4.12 a 4.13 jsou zakresleny hranice zón pro dva, resp. tři operátory, jejichž anténní systémy vysílají ze stejné střechy. Červeně jsou vykresleny hranice zóny pro antény 2G a 3G a modře jsou vykresleny hranice zón s přidáním anténního systému 4G se všemi třemi frekvenčními pásmy.



Obrázek 4.11: Srovnání zón po přidání 4G – jeden operátor



Obrázek 4.12: Srovnání zón po přidání 4G – dva operátoři



Obrázek 4.13: Srovnání zón po přidání 4G – tři operátoři

5 Konfigurace a optimalizace anténního systému v závislosti na vlivu EMP

5.1 Umístování antén 2G + 3G , příklady

5.1.1 Ploché střechy, panelové domy

V případě instalace anténních systémů na plochých střechách panelových bytových domů nebo administrativních budov je standardem umístování antén na samonosné stožáry volně stojící na střešním plášti, jak je znázorněno na obrázku 5.1. Výška stožárů se pohybuje obvykle od tří do pěti metrů. Spodní hrany antén jsou tedy ve výši kolem dvou metrů nad střechou. Jejich vzdálenost od hrany střechy bývá obvykle rovněž kolem dvou metrů. Toto umístění zajišťuje dostatečný prostor před anténami tak, aby hrany ochranných zón nezasahovaly do míst s možným trvalým pohybem osob (balkóny, terasy...apod.)



Obrázek 5.1: Instalace na ploché střeše

5.1.2 Výtahové strojovny, panelové domy

Druhou velmi často využívanou možností instalace antén na obytných domech znázorněnou na obrázku 5.2 je využívání střešní nadstavby obvykle sloužící jako strojovna výtahu. Kotvením stožárů do zdí těchto nadstaveb lze dosáhnout pohodlné výšky pro umístění antén tak, aby záření elektromagnetického pole nemohlo překročit limity v místech pohybu a pobytu osob.



Obrázek 5.2: Instalace na výtahových nadstavbách

5.1.3 Sedlové střechy

Ve starší městské zástavbě se sedlovými střechami se anténní systémy instalují na stožáry, které jsou ukotveny k vnitřním konstrukcím (krovům) budov. Antény se v těchto případech umísťují na část nad střechou, která však vzhledem k estetickým, statickým a konstrukčním důvodům nepřechází nijak výrazně hranu střechy. Ukázky instalací jsou na obrázku 5.3. Obvykle to bývá maximálně 1m nad hranou střechy. V těchto případech je potřeba věnovat zvýšenou pozornost výpočtu EMP a antény směřovat tak, aby hrany ochranných zón nezasahovaly do půdních prostor, které bývají volně přístupné obyvatelům domů. Dosáhnout toho lze celkem bezpečně směřováním antén do azimutu blízkému se kolmici k hřebenu střechy.



Obrázek 5.3: Instalace na sedlových střechách

5.1.4 Výškové objekty

Další variantou umísťování antén jsou výškové objekty, které jsou z hlediska vlivu EMP na okolí naprosto bezpečné, protože antény jsou v dostatečné vzdálenosti od míst s potenciálním pohybem osob. Toto jsou například sila, kostely, komíny, samostatně stojící stožáry a podobně znázorněné na obrázku 5.4.



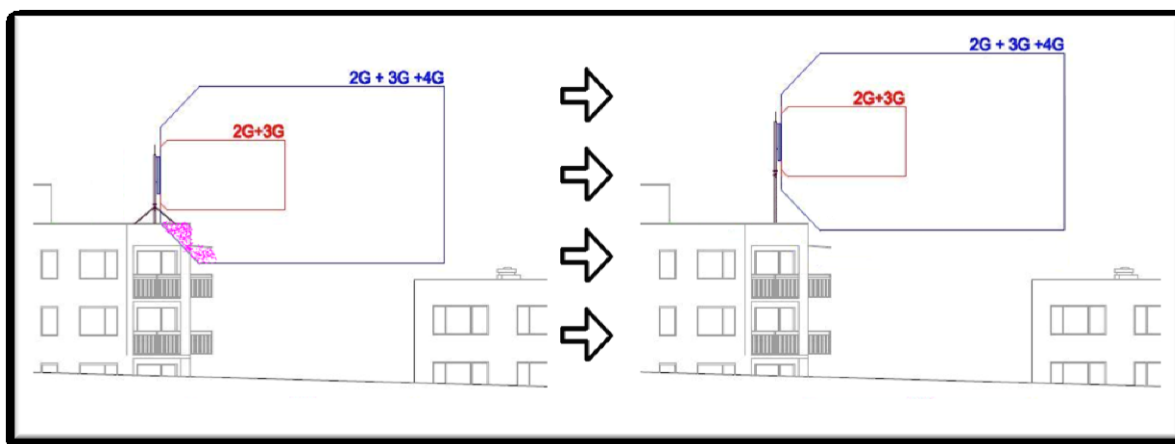
Obrázek 5.4: Instalace na výškových objektech

5.2 Přidávání antén 4G (LTE) k BTS 2G a 3G

Přidávání antén systému LTE 4G na stávající BTS 2G/3G nebude ve všech případech možno realizovat bez úprav konstrukcí anténních stožárů nebo bez omezení vysílacích parametrů. Z provedených výpočtů je patrné, že přidáním anténního systému 4G se značným způsobem rozšíří hrany ochranných zón kolem antén a v mnohých případech instalací na stávající konstrukce by ochranné zóny mohly zasáhnout prostory, ve kterých toto již není akceptovatelné.

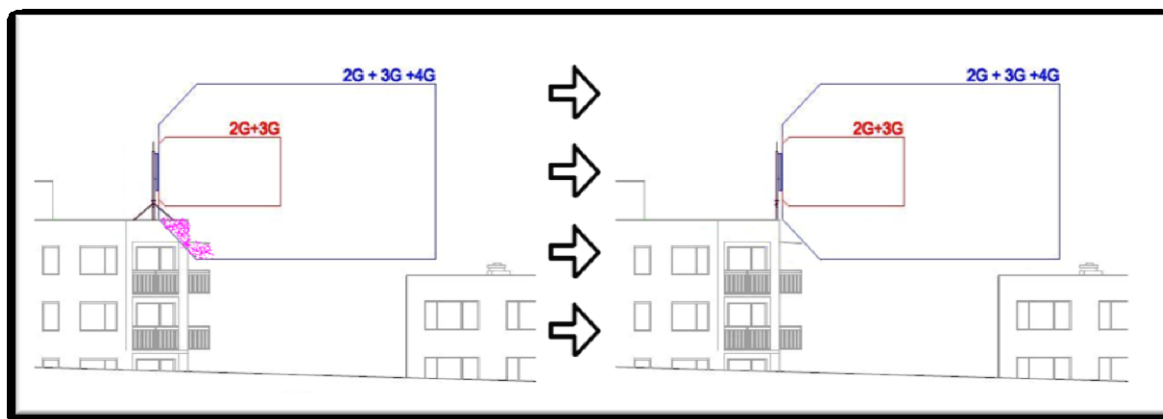
5.2.1 Ploché střechy, panelové domy

U těchto typů instalací je vždy nutno propočíst hrany vlivu EMP a v případě potřeby bude nutno stávající stožáry zvýšit natolik, aby se hranice posunuly mimo ohrožená místa. Vliv tohoto řešení je patrný z obrázku 5.5, kde je v levé části znázorněno zasažení zóny do obytného prostoru a v pravé části vysunutí antén a tedy celé zóny tak vysoko, že zóna již do problematického prostoru nezasahuje. Toto řešení může být problematické nejen z ekonomického hlediska, protože bude vyžadovat nové ocelové konstrukce, ale problémy mohou nastat i z hlediska konstrukcí stožárů s ohledem na statické zatížení.



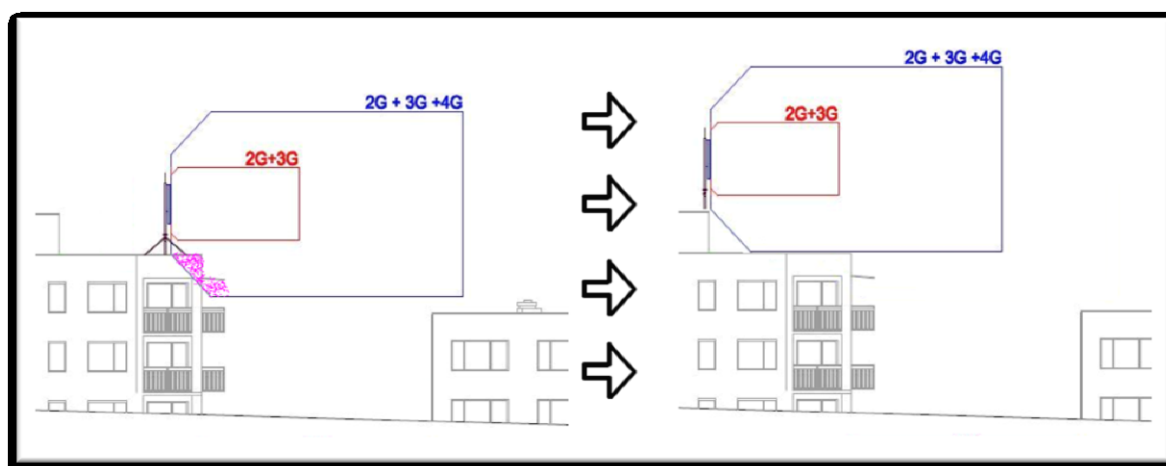
Obrázek 5.5: Posun antén zvýšením nosné konstrukce

Druhou možností řešení instalace je posunutí konstrukcí stožárů co nejvíce k hraně střechy a tím vysunutí hranice zón mimo ohrožená místa, jak je patrné z obrázku 5.6.



Obrázek 5.6: posun antén k hraně střechy

Další možností je instalace nových anténních stožárů buď do takových míst na střeše, ze kterých se EMP antén již navzájem nebude ovlivňovat s jinými anténami, a tedy rozměry problematických zón se zmenší, nebo v případě možnosti instalace anténních stožárů na výtahové strojovny, které jsou v takové výšce nad střechou, že vliv zón na obytné prostory eliminují. Toto řešení je znázorněno na obrázku 5.7.



Obrázek 5.7: Přemístění antén na výtahovou nadstavbu

V případě, že zóny zasahují až do jiných domů stojících v okolí, nabízí se možnost přesměrování azimutů antén nebo změna náklonů antén a tím zmenšení rozměru D^{pod} . Podobného výsledku by se dalo dosáhnout snížením vysílacích výkonů z antén. Samozřejmě to však bude mít vliv na dosah pokrytí z těchto antén.

5.2.2 Výtahové strojovny, panelové domy

V těchto případech, jak je patrné z obrázku 5.8, jsou stožáry většinou dostatečně vysoké a antény umístěné natolik vysoko nad střechou objektu, že s velkou pravděpodobností nebude nutno nějak výrazně stožáry upravovat a nový anténní systém bude možno nainstalovat bez omezení. V krajních případech by bylo potřeba stožáry navýšit nebo podobně jako v předchozím odstavci změnit směřování antén nebo vysílací výkony.



Obrázek 5.8: Vysoké stožáry na výtahových nadstavbách

5.2.3 Sedlové střechy

Instalace nových anténních systémů na těchto typech střech bude největším problémem. Možností by bylo zvýšení stávajících stožárů, ale to je ve většině případů vyloučeno z důvodů omezení ze strany např. památkářů nebo také ze statických a konstrukčních důvodů. Při plánování těchto instalací je nutno nacházet takové typy antén, které svými parametry (obzvláště vertikální vyzařovací úhel) co nejvíce eliminují vliv EMP na okolí. Rovněž bude potřeba v těchto případech optimalizovat na některých frekvencích vysílací výkon a hledat takové kombinace vysílacích výkonů a frekvencí, aby bylo dosaženo co nejmenšího nárůstu rozměru zón. Obzvláště citlivá bude volba vysílacího výkonu na frekvenci 2600MHz, který dle předešlých výpočtů nejvíce ovlivňuje velikost zón. Instalace na sedlových střechách jsou nejběžnější ve velkých městech, kde bude pásmo 2600MHz používáno nejvíce, proto bude nutno citlivě volit poměr vysílací výkon a pokrytí.

5.2.4 Výškové objekty

U těchto instalací není, vzhledem k jejich výšce, nebezpečí, že by přidání antén 4G ovlivnilo negativně místa s volným pohybem osob.

6 Závěr

Z hlediska vlivu elektromagnetického pole na okolí antén základnových stanic je pro plánovanou výstavbu sítí 4G LTE v České Republice bezpodmínečně nutné ze strany stávajících i budoucích operátorů dbát při plánování, výstavbě a konfiguraci anténního systému na platné legislativní předpisy zmiňované v kapitole 4.1. Lze předpokládat, že stávající operátoři budou při výstavbě těchto nových sítí přednostně využívat místa stávajících základnových stanic a podle závěrů v kapitole 4.3.6 dojde k podstatným změnám vlivu limitních hodnot EMP na okolí anténního systému stávajícího i nového.

Jak je uvedeno v kapitole 4.1 této bakalářské práce, Zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a související předpisy ukládá provozovateli BTS mj. povinnost vypracovat projektovou dokumentaci, ve které bude doloženo **výpočtem** nebo **měřením** dodržení nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření. V této bakalářské práci byly provedeny výpočty, z jejichž výsledků lze jednoznačně doporučit volbu první možnosti citovanou v tomto Zákoně, tedy **výpočet**. Výpočtem schváleným příslušnou hygienickou stanicí lze předejít nežádoucím ekonomickým dopadům na výstavbu v případě, že by se operátor rozhodl ověřovat vliv EMP až následně provedeným **měřením** po samotné instalaci antén. Pokud by **měření** prokázalo vliv EMP i na místa, kde je to nežádoucí, bylo by samozřejmě nutné instalované antény přemísťovat či měnit jejich vysílací parametry, což je ale ekonomicky nevýhodné.

V případě výstavby sítě 4G LTE na místě, kde doposud žádný jiný vysílač mobilní sítě není, což se bude týkat zřejmě hlavně nového operátora či operátorů, bude vliv EMP na okolí menší než při kombinaci s technologiemi 2G a 3G. Z výsledků výpočtů této bakalářské práce lze přesto i v těchto případech doporučit volbu **výpočtu** EMP před **měřením** EMP prováděného po výstavbě základnové stanice. Provedení **výpočtu** je samozřejmě mnohem levnější záležitostí než případné změny umístění antén po negativním výsledku z **měření**.

Vzhledem k hustotě sítí stávajících mobilních operátorů, kteří provozují dohromady cca 14000 základnových stanic, není výjimkou tzv. sdílení, tedy osazení stanic dvou či tří operátorů na jedné společné střeše objektu. Takové kombinace mají už v případě osazení sítí 2G a 3G velký vliv z hlediska EMP. Simulacemi v této bakalářské práci v kapitole 4.3.6 bylo dokázáno, že přidáním dalších antén 4G se vliv EMP výrazně zvýší a rozvoj sítí 4G na těchto místech bude vyžadovat užší spolupráci operátorů při plánování konfigurací anténních systémů na těchto lokalitách. Přestože dle [8] se ve výpočtech předkládaným hygienickým stanicím ke schválení, musí uvádět i vliv antén ostatních operátorů v blízkém okolí, nelze vzhledem k předpokládané masivní a rychlé výstavbě sítí LTE vyloučit chyby ve vzájemné výměně informací o plánovaných konfiguracích antén na těchto sdílených lokalitách. Lze doporučit, aby kontrolní roli souladu výpočtů jednotlivých operátorů plnily nejlépe příslušné hygienické stanice, u kterých se budou výpočty scházet k posouzení.

Z příkladů konfigurace a optimalizace anténního systému v této bakalářské práci vyplývá nutnost zvýšené pozornosti vlivu EMP na okolí při plánování a výstavbě sítě zejména na plochých střechách obytných a administrativních budov a také v případech instalací na sedlových střechách bytových domů. V uvedených případech může po přidání anténního systému 4G poměrně snadno dojít k ovlivnění nežádoucích míst nepřipustnými hodnotami EMP. V této práci jsou navržena i možná řešení těchto problémů spočívající hlavně v uvážené volbě místa na dané střeše pro instalaci nových

antén, volbě horizontálního i vertikálního směrování antén a ve volbě vysílacích parametrů, hlavně výkonů antén.

Použitá literatura

- [1] SOUKENKA, Radim. Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra: Přehled rádiového spektra. *Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra: Přehled rádiového spektra* [online]. [© 2007-2013] nebo [29. 3. 2013]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.radiospektrum.cz/cze/uvod.html>
- [2] HANUS, Doc. Ing. Stanislav , CSc. *BEZDRÁTOVÉ A MOBILNÍ KOMUNIKACE*. Praha, 2003. ISBN 80 – 214 – 1833 – 8. Dostupné z: http://data.idnes.cz/soubory/tec_checktech/a041123_jma_skr_bezdratove-mobilni-komunikace.pdf . Scripta. Vysoké učení technické v Brně
- [3] Česká Republika. Zákon č.183/2006 Sb.: o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů* 2006.
- [4] Česká Republika. Zákon č.258/2000Sb: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů* 2000.
- [5] Česká Republika. Zákon č.20/1987 Sb. ve znění zákona ČNR č. 425/1990 Sb.: o státní památkové péči.
- [6] Česká Republika. Nařízení Vlády č. 1/2008 Sb.: ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *Sbírka zákonů* 1/2008 na straně 2
- [7] Česká Republika. Předpis 480/2000 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: 29. 12. 2000. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=480&r=2000>
- [8] Česká republika. METODICKÝ NÁVOD: ke sjednocení postupu orgánů a zařízení ochrany veřejného zdraví. In: Praha, 2009, Čj.:29015/2009. Dostupný také z: <http://www.mzcr.cz/odbornik/>
- [9] OK2KQM & OK6A: - dB-dBm-W-uV kalkulačka. RADIOKLUB VYSOKÉ ŠKOLY BÁŇSKÉ - TECHNICKÉ UNIVERZITY OSTRAVA. [online]. Ostrava [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://radioklub.vsb.cz/index.php/calcul/kalkulacka>
- [10] Zdraví a mobil: Lidské zdraví a mobilní technologie v souvislostech. APMS | VYSKOČILOVA 1442/1B, 140 21 Praha 4. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.zdraviamobil.cz/>
- [11] Alcatel Lucent: Nortel™ Univity® Metro Cell CDMA BTS. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <https://support.alcatel-lucent.com/portal/productContent.do?productId=null&entryId=1-0000000001677&type=alpha>
- [12] NOVÁK, Ing. František. ING. JIŘÍ KLINER. *Výstavba telekomunikačních sítí a zařízení*. Praha: ABF - nakladatelství ARCH, ABF, 2006. Stavební právo, 1/2006. ISBN 80-86905-28-4.
- [13] Česká Republika. Vyhlášení výběrového řízení za účelem udělení práv k využívání rádiových kmitočtů k zajištění veřejné komunikační sítě v pásmech 800 MHz, 1800MHz a 2600 MHz. In: Praha, 2012, Čj.: ČTÚ-120 780/2012-613. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/vyberova_rizeni/vyhlaseni_vyberoveho_rizeni_12_07_2012.pdf

-
- [14] KATHREIN-WERKE KG ROSENHEIM. *Antenna line products for mobile communication* [online]. 09.04.2009. 5.02.2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.kathrein.de/en/mcs/index.htm>

Seznam příloh

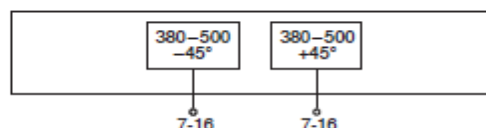
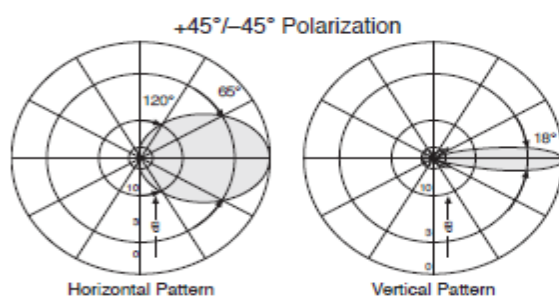
Příloha.A:	Katalogový list antény Kathrein 741516	II
Příloha.B:	Katalogový list antény Kathrein 80010634	III
Příloha.C:	Katalogový list antény Kathrein 742215	IV
Příloha.D:	Katalogový list antény Kathrein 80010651	V

Panel	380–500
Dual Polarization	X
Half-power Beam Width	65°

KATHREIN
Antennen · Electronic

XPol Panel 380–500 65° 15dBi

Type No.	741516	
	380–500	
Frequency range	380 – 430 MHz	430 – 500 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain	14.5 dBi	15 dBi
Half-power beam width	Horizontal: 65° Vertical: 18°	
Copolar +45°/–45°		
Front-to-back ratio	> 25 dB	
Isolation	> 30 dB	
Impedance	50 Ω	
VSWR	< 1.5	
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)	
Max. power per input	500 W (at 50 °C ambient temperature)	



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Rearside
Wind load	Frontal: 1100 N (at 150 km/h) Lateral: 440 N (at 150 km/h) Rearside: 1540 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	2000 / 492 / 190 mm
Category of mounting hardware	H (Heavy)
Weight	19 kg
Packing size	2080 x 523 x 252 mm

Panel

Dual Polarization

Half-power Beam Width

Adjust. Electr. Downtilt

set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

XPol Panel 790–960 65° 16.5dBi 0°–10°T

790–960

X

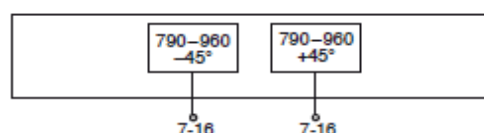
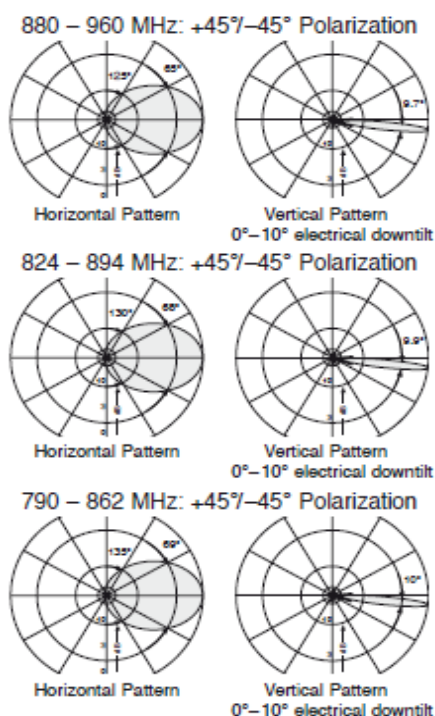
65°

0°–10°

KATHREIN

Antennen · Electronic

Type No.	80010634v01		
Frequency range	<div>790 – 862 MHz</div> <div>824 – 894 MHz</div> <div>880 – 960 MHz</div>		
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain (dBi)	16.2 ... 16.4 ... 16.2	16.3 ... 16.6 ... 16.3	16.6 ... 16.8 ... 16.6
Tilt	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	69°	68°	65°
Front-to-back ratio (180°±30°)	> 24 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio			
Maindirection	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB
Sector	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Tracking, Avg.	0.5 dB		
Squint	±1.5°		
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	10°	9.9°	9.7°
Electrical tilt	0° – 10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 18 ... 18 ... 18 dB
Isolation, between ports	> 30 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	400 W (at 50 °C ambient temperature)		



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Rearside
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Wind load	Frontal: 680 N (at 150 km/h) Lateral: 310 N (at 150 km/h) Rearside: 900 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	1934 / 259 / 99 mm
Category of mounting hardware	M (Medium)
Weight	11 kg / 13 kg (clamps incl.)
Packing size	2216 x 272 x 147 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 50 – 115 mm diameter

938 3816/c Subject to alteration.

Internet: www.kathrein.de

KATHREIN-Werke KG · Anton-Kathrein-Straße 1 – 3 · P.O. Box 10 04 44 · 83004 Rosenheim · Germany · Phone +49 8031 184-0 · Fax +49 8031 184-973

80010634v01 Page 1 of 2

Multi-band Panel	1710–2200
Dual Polarization	X
Half-power Beam Width	65°
Adjust. Electrical Downtilt	0°–10°
set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)	

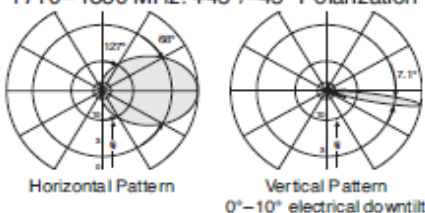
KATHREIN
Antennen · Electronic

XPol Panel 1710–2200 65° 18dBi 0°–10°T

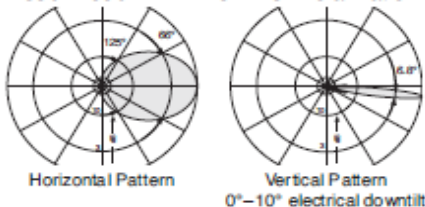
Type No.	742215v01		
	1710–2200		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2200 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain (dBi)	17.7 ... 17.8 ... 17.6	18.0 ... 18.2 ... 17.9	18.1 ... 18.2 ... 18.0
Tilt	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	68°	66°	64°
Front-to-back ratio (180°±30°)	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Main direction	0°	0°	0°
Sector	±60°	±60°	±60°
Tracking, Avg.	0.5 dB		
Squint	±1.5°		
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	7.1°	6.8°	6.4°
Electrical tilt	0°–10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between ports	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



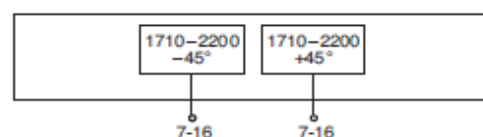
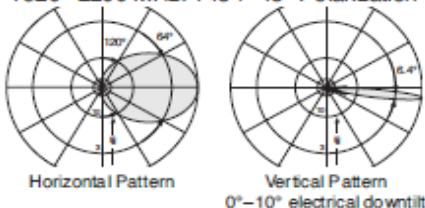
1710–1880 MHz: +45°/–45° Polarization



1850–1990 MHz: +45°/–45° Polarization



1920–2200 MHz: +45°/–45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1 x, Position bottom continuously adjustable
Wind load	Frontal: 330 N (at 150 km/h) Lateral: 90 N (at 150 km/h) Rearside: 340 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	1314 / 154 / 70 mm
Category of mounting hardware	L (Light)
Weight	5.2 kg / 7.2 kg (clamps incl.)
Packing size	1595 x 172 x 92 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 50 – 115 mm diameter

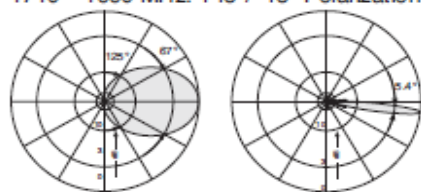
Multi-band Panel 1710–2690
Dual Polarization X
Half-power Beam Width 65°
Adjust. Electrical Downtilt 0°–6°
 set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

KATHREIN
 Antennen · Electronic

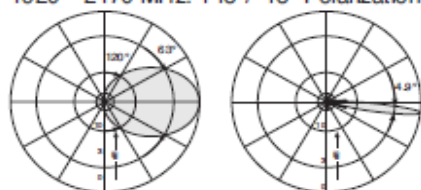
XPol Panel 1710–2690 65° 19dBi 0°–6°T

Type No.	80010651			
	1710–2690			
Frequency range	1710 – 1990 MHz	1920 – 2170 MHz	2170 – 2490 MHz	2490 – 2690 MHz
Polarization	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°	+45°, –45°
Gain at 0° tilt	2 x 18.5 dBi	2 x 19.0 dBi	2 x 19.4 dBi	2 x 19.5 dBi
Horizontal Pattern:				
Half-power beam width	67°	63°	60°	58°
Front-to-back ratio (180°±30°)	> 28 dB	> 28 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 28 dB
Sector	0° ±60°	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Tracking, Avg.	1.5 dB			
Squint	±3°			
Vertical Pattern:				
Half-power beam width	5.4°	4.9°	4.3°	4.0°
Electrical tilt	0°–6°, continuously adjustable			
Sidelobe supression for first sidelobe above main beam	0° ... 3° ... 6° T ≥ 18 ... 18 ... 17 dB	0° ... 3° ... 6° T ≥ 18 ... 18 ... 16 dB	0° ... 3° ... 6° T ≥ 18 ... 18 ... 16 dB	0° ... 3° ... 6° T ≥ 18 ... 18 ... 17 dB
Impedance	50 Ω			
VSWR	< 1.5			
Isolation, between ports	> 30 dB			
Intermodulation IM3	< –150 dBc (2 x 43 dBm carrier)			
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)			

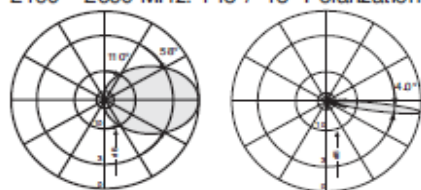
1710 – 1990 MHz: +45°/–45° Polarization



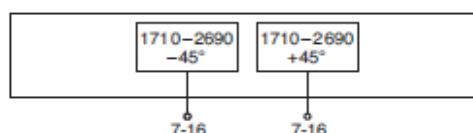
1920 – 2170 MHz: +45°/–45° Polarization



2490 – 2690 MHz: +45°/–45° Polarization



936_4200/b Subject to alteration.



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Wind load	Frontal: 430 N (at 150 km/h) Lateral: 115 N (at 150 km/h) Rearside: 440 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Height/width/depth	1670 / 155 / 70 mm
Category of mounting hardware	M (Medium)
Weight	7 kg / 9 kg (clamps incl.)
Packing size	1934 x 172 x 92 mm
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 42 – 115 mm diameter

